

**Robson Hiroaki Akimura**

**Automação do procedimento para o projeto de sinalização horizontal de pistas de pouso e decolagem em aeroportos e avaliação de alguns sítios aeroportuários existentes**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo acadêmico Robson Hiroaki Akimura à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Professor orientador: Alexandre Hering Coelho, Dr.

28 de junho de 2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Akimura, Robson Hiroaki

Automação do procedimento para o projeto de sinalização horizontal de pistas de pouso e decolagem em aeroportos e avaliação de alguns sítios aeroportuários existentes / Robson Hiroaki Akimura ; orientador, Alexandre Hering Coelho - Florianópolis, SC, 2016.

77 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Aeroportos. 3. Projeto. 4. Sinalização horizontal. 5. Automação. I. Coelho, Alexandre Hering. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Robson Hiroaki Akimura

**AUTOMAÇÃO DO PROCEDIMENTO PARA O PROJETO DE  
SINALIZAÇÃO HORIZONTAL DE PISTAS DE POUSO E  
DECOLAGEM EM AEROPORTOS E AVALIAÇÃO DE  
ALGUNS SÍTIOS AEROPORTUÁRIOS EXISTENTES**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado, adequado para obtenção do grau de Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de junho de 2016.

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.  
Coordenador do curso

**Banca Examinadora:**



Prof. Alexandre Hering Coelho, Dr.  
Orientador

Prof. João Victor Staub de Melo, Dr.  
Membro

Nilton Goldner, Eng.  
Membro



Dedico este trabalho à minha família.



# Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por todas as conquistas que realizei na vida e mais esta.

Agradeço aos meus pais, Kenichi Akimura e Rosa Satiko Sato Akimura, por sempre incentivarem os estudos, proporcionando um ensino de qualidade para que eu tivesse base para entrar em uma boa universidade, além de todo carinho e amor. Por estarem presentes quando eu precisasse e por acreditarem em mim.

Às minhas queridas irmãs, Cynthia, Keity e Sheila Akimura, as quais me apoiaram em toda minha vida. Pelos conselhos, risadas, viagens e tudo o que fizeram por mim. Um dia espero poder retribuir por tudo.

Agradeço aos professores que tive em toda graduação, os quais serviram de base para minha formação como engenheiro.

Ao professor e orientador Alexandre Hering Coelho pela paciência e dedicação tanto nas aulas ministradas quanto na orientação deste trabalho, além de ser uma excelente pessoa fora de sala. Pela confiança dada a mim para ajudá-lo nesse incrível projeto e por me mostrar que eu poderia ir além dos meus limites quando nem mesmo eu imaginava.

Aos meus colegas de turma os quais compartilhei muitas alegrias durante a graduação.

Agradeço aos meus grandes amigos André Colares, Bruno Macedo da Silva e Gustavo Ianegitz Pereira por longos anos de amizade e companheirismo. Pelos inúmeros almoços, filmes e histórias a serem lembradas cada vez que nos encontramos, e mesmo com a distância ainda preservamos essa forte amizade.

Ao meu primo Eduardo Shigue Kubo por ter me apresentado a essa cidade maravilhosa que é Florianópolis e a Universidade Federal de Santa Catarina, o que foi fundamental para a escolha da universidade, na época. Agradeço também pela preocupação e os conselhos dados até hoje.

Agradeço a todos do LMCC e LabTrans, que são excelentes profissionais e ótimas pessoas, em especial ao Roque por compartilhar sua vasta experiência e amizade. Agradeço pela oportunidade de estágio nesses laboratórios que com certeza ajudaram na minha formação profissional.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!





# RESUMO

A sinalização horizontal é um elemento essencial para a operação dos aeródromos. Ela proporciona informação e orientação na aproximação de uma aeronave para o pouso e, também, na corrida para a decolagem. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema para automatizar o procedimento de elaboração de projetos de sinalização horizontal para pistas de pouso e decolagem. Para tanto, realizou-se uma pesquisa sobre as normas técnicas brasileiras a respeito do assunto, que serviram de base para o desenvolvimento de uma ferramenta computacional. Uma aplicação da ferramenta foi feita com os dados de alguns aeródromos existentes e realizada uma posterior comparação com os projetos gerados sobrepostos à imagens de satélite do Google Earth. O resultado da aplicação permitiu verificar o atendimento das normas técnicas nos aeroportos brasileiros. A ferramenta desenvolvida mostrou um grande potencial para aplicação em projetos de sinalização horizontal de pistas de pouso e decolagem, tornando automática a sua elaboração.

Palavras-chave: aeroportos, projeto, sinalização horizontal, automação



# ABSTRACT

The runway markings is an essential element for aerodromes operations. It provides the information and guidance in approach of an aircraft for landing, and also in takeoff run. The goal of this study is to develop and apply a new system to automate the procedure to make runway markings projects. A survey was conducted about the brazilian technical specifications which were the basis for the development a computational tool. An application of this tool was made with some existing aerodromes data and a subsequent comparison of the generated projects on Google Earth's satellite images. The result of the application allowed the check if the brazilian airports follow the technical standard. This tool show a great potential for application in runway markings projects, making the develop automatically.

Key-words: airports, project, runway markings, automation



# Lista de Figuras

1	Funcionamento - Localizer e Glideslope . . . . .	8
2	Instrumento - Localizer e Glideslope . . . . .	9
3	Instrumento - Marker beacon . . . . .	9
4	Decolagem sem falha na turbina . . . . .	12
5	Decolagem com falha na turbina . . . . .	12
6	Corrida e parada . . . . .	12
7	comprimento balanceado de pista . . . . .	13
8	Distâncias declaradas . . . . .	14
9	Envergadura e distância entre rodas . . . . .	17
10	Orientação para designação de pista . . . . .	19
11	Sinalização horizontal de designação de pista, de eixo e cabeceira . . . . .	20
12	Formato e proporções dos números e letras para sinalização horizontal de designação de pistas de pouso e decolagem (dimensões em m) . . . . .	21
13	Sinalização de ponto de visada e zona de toque . . . . .	26
14	Fluxograma do método . . . . .	27
15	Programa de sinalização horizontal . . . . .	33
16	Prompt de comando . . . . .	33
17	Projeto VFR e IFR não precisão . . . . .	36
18	Projeto IFR precisão básico . . . . .	37
19	Projeto IFR precisão com codificação de distâncias . . . . .	38
20	Modelo do aeroporto de Brasília . . . . .	40
21	Cabeceira esquerda da pista - Brasília . . . . .	41
22	Cabeceira direita da pista (aproximado) - Brasília . . . . .	41

23	Diferenças de posicionamento - As setas mostram as diferenças existentes entre a projeção e a imagem de satélite . . . . .	42
24	Modelo do aeroporto de Florianópolis . . . . .	43
25	Análise comparativa do aeroporto de Florianópolis . . . . .	44
26	Distância da zona de toque do programa . . . . .	44
27	Distância da zona de toque real . . . . .	45
28	Distância ponto de visada real . . . . .	45
29	Análise comparativa do aeroporto de Florianópolis . . . . .	46
30	Modelo do aeroporto de Angra dos Reis . . . . .	48
31	Análise comparativa do aeroporto de Angra dos Reis . . . . .	49
32	Cabeceira direita da pista - Angra dos Reis . . . . .	49
33	Cabeceira esquerda da pista - Angra dos Reis . . . . .	50
34	Modelo do aeroporto de Poços de Caldas . . . . .	51
35	Análise comparativa do aeroporto de Poços de Caldas . . . . .	52
36	Cabeceira esquerda da pista - Poços de Caldas . . . . .	52
37	Modelo do aeroporto de Porto Alegre . . . . .	54
38	Cabeceira esquerda da pista - Porto Alegre . . . . .	55
39	Descontinuidade - Porto Alegre . . . . .	55
40	Cabeceira direita da pista - Porto Alegre . . . . .	56

# Lista de Tabelas

1	Altura de decisão e alcance visual da pista . . . . .	7
2	Categorias do <i>mix</i> de aeronaves . . . . .	10
3	Separações longitudinais exigidas para aeronaves chegando a uma pista única quando operando sob IFR (distância em milhas náuticas) . . . . .	10
4	Código de referência do aeródromo . . . . .	16
5	Largura de pista . . . . .	17
6	Número de faixas . . . . .	22
7	Sinalização horizontal do ponto de visada . . . . .	23
8	Faixas de zona de toque . . . . .	24
9	Resumo dos elementos existentes na pista . . . . .	29





# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Considerações iniciais . . . . .	1
1.2	Justificativa . . . . .	2
1.3	Objetivos . . . . .	3
1.3.1	Objetivo geral . . . . .	3
1.3.2	Objetivos específicos . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Revisão bibliográfica</b>	<b>4</b>
2.1	Características determinantes dos aeródromos para elaboração de projetos de sinalização . . . . .	4
2.1.1	Tipo de operação (VFR, IFR) . . . . .	4
2.1.2	<i>Mix</i> de aeronaves . . . . .	9
2.1.3	Comprimento de pista de pouso e decolagem . . . . .	11
2.1.4	Código de referência do aeródromo . . . . .	15
2.1.5	Largura de pistas de pouso e decolagem . . . . .	16
2.2	Elementos da sinalização horizontal e sua regulamentação . . . . .	17
2.2.1	Designação de pista . . . . .	18
2.2.2	Sinalização de eixo de pista de pouso e decolagem . . . . .	20
2.2.3	Sinalização horizontal de cabeceira . . . . .	21
2.2.4	Sinalização horizontal de ponto de visada . . . . .	22
2.2.5	Sinalização de zona de toque . . . . .	23
2.2.6	Sinalização horizontal de borda de pista de pouso e decolagem . . . . .	24
2.3	Recursos de software existentes para auxílio em projetos de sinalização de aeródromos . . . . .	25

<b>3</b>	<b>Método</b>	<b>27</b>
3.1	Escolha de linguagem de programação apropriada . . . . .	28
3.2	Desenvolvimento . . . . .	29
3.2.1	Estudo dos elementos de sinalização horizontal previstos . . . . .	29
3.2.2	Procedimento de desenho da pista e seus elementos . . . . .	30
3.2.3	Implementação computacional . . . . .	31
3.2.4	Geração do KML . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>35</b>
4.1	Verificação de projetos gerados . . . . .	35
4.2	Comparações de projetos com imagens . . . . .	35
4.2.1	Aeroporto Internacional Juscelino Kubitschek - Brasília/DF . . . . .	39
4.2.2	Aeroporto Internacional Hercílio Luz - Florianópolis/SC . . . . .	39
4.2.3	Aeroporto de Angra dos Reis - Angra dos Reis/RJ . . . . .	47
4.2.4	Aeroporto Embaixador Walther Moreira Salles - Poços de Caldas/MG . .	50
4.2.5	Aeroporto Salgado Filho - Porto Alegre/RS . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Considerações finais</b>	<b>57</b>
5.1	Utilidades do TCC . . . . .	58
	<b>Referências</b>	<b>59</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Considerações iniciais

Durante algumas décadas o transporte aéreo, seja de carga ou de passageiros, de acordo com MELLO (2015), se revestiu de um certo *glamour* como sendo um transporte elitista, que conferia *status* à pessoa que usufruísse desse serviço.

Mas desde 1927, ano que iniciou a aviação comercial brasileira, com o voo inaugural da primeira empresa de aviação civil, o transporte aéreo sofreu várias transformações. O crescimento desse setor foi tanto que foi criada uma agência reguladora dedicada (Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC, criada em 2005) (McKinsey & Company, 2010).

Segundo o estudo realizado por McKinsey & Company (2010), no final da década de 2000, eram realizadas mais de 50 milhões de viagens por ano. Número que cresceu à expressiva taxa de 10% ao ano entre 2003 e 2008, resultado de uma melhoria na economia como um todo e da inclusão das classes mais econômicas. Embora a crise de 2009 tenha atingido o país, no segundo semestre do mesmo ano foi observada uma forte retomada da demanda por serviços aéreos no mercado doméstico e início da retomada no mercado internacional.

Hoje, a maior parte dos aeroportos do mundo, mais da metade, se concentra nos Estados Unidos. Além disso, lá também se encontram dois terços dos aeroportos mais movimentados no mundo (YOUNG; WELLS, 2014). Isso mostra que há um grande mercado que se utiliza desse serviço. *Federal Aviation Administration* (FAA) é a autoridade reguladora estadunidense de aviação no país.

Um aeroporto pode ser considerado como uma cidade. YOUNG; WELLS (2014) faz essa afirmação pelo fato do aeroporto constituir uma grande variedade de instalações, sistemas, usuários, trabalhadores, regras e regulamentos. Assim, analogamente, administrar um aeroporto é uma função tão completa quanto a exercida por um prefeito que administra uma cidade.

Assim, seria necessário um órgão máximo que fosse referência na construção e administração dos aeroportos.

A Organização da Aviação Civil Internacional (OACI ou ICAO do inglês) teve início em 1944, em uma convenção realizada em Chicago nos Estados Unidos. MELLO (2015) explica que essa organização tinha como objetivo principal, padronizar as práticas da navegação, da segurança da aviação comercial no mundo e tudo mais que fosse relacionado a isso, como normas

para tripulantes, cartas aeronáuticas, meteorologia, operações das aeronaves, telecomunicações, aeroportos, informações, meio ambiente e transporte de produtos perigosos. No ano de sua origem havia 52 países-membros e até 2015 havia 190 países-membros.

A sinalização presente na pista de pouso e decolagem está entre as padronizações feitas pela ICAO. A correta sinalização da pista proporciona segurança para os passageiros e a tripulação durante o pouso e decolagem de uma aeronave. Ela é tão importante que está bem especificada no Anexo 14, seção normativa da ICAO referente a projetos de pistas.

Existem três tipos de sinalização: sinalização horizontal; sinalização vertical; iluminação. A sinalização horizontal se dá por meio de faixas pintadas ao longo da pista. Já a sinalização vertical mostra as informações necessárias por meio de placas nas laterais da pista de pouso e decolagem e pistas de táxi. Por fim, luzes de diferentes tipos e disposições fazem a sinalização luminosa. Para este trabalho, foi abordado a sinalização horizontal.

Atualmente muitos projetos de engenharia são auxiliados pelo uso do computador. Com a criação dos programas que criam e utilizam arquivos de desenho assistido por computador, ou do inglês *computer-aided design* (CAD), os projetos na área da engenharia deixaram de serem realizadas com desenhos. Assim, o projeto de uma pista de pouso e decolagem pode ser feito inteiramente através de um software que utiliza CAD. Seguindo os passos da tecnologia, ainda há a possibilidade de automatizar esse processo.

## 1.2 Justificativa

Por conta do crescimento do transporte aéreo nos últimos anos, houve um aumento de projetos de aeroportos e aeródromos, até para acompanhar esse crescimento. A relação é simples, quanto mais viagens realizadas por transporte aéreo, maior deverá ser a capacidade dos aeroportos para suprir essa demanda.

Uma ferramenta a fim de automatizar o procedimento de elaboração de projeto de sinalização horizontal de pistas de pouso e decolagem poderia simplificar o trabalho dos projetistas, além de reduzir a possibilidade de ocorrerem erros no projeto.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

O objetivo desse trabalho de conclusão de curso é desenvolver um sistema para automatizar o procedimento de elaboração de projetos de sinalização horizontal para pistas de pouso e decolagem em aeródromos. A partir disso são feitas comparações entre os resultados obtidos pelo uso do sistema e a sinalização observada em alguns aeródromos no Brasil.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Estudar as normas brasileiras relativas a sinalização de aeródromos;
- Reunir as especificações técnicas necessárias para a execução de projetos de sinalização horizontal de pistas de pouso e decolagem;
- Desenvolver um sistema utilizando uma linguagem de programação para automatizar a geração dos desenhos técnicos pertinentes;
- Utilizar o sistema alimentando-o com dados de entrada relativos a alguns aeródromos existentes;
- Comparar os desenhos gerados pelo sistema com as características da sinalização observável em imagens de satélite de alguns aeródromos existentes;
- Analisar as comparações buscando identificar o atendimento das normas.

## 2 Revisão bibliográfica

Nessa seção foram reunidas as informações necessárias para se realizar um projeto de pista de pouso e decolagem. A revisão bibliográfica conta com as características fundamentais, que vão desde o desempenho de aeronaves até as dimensões da pista, e as especificações técnicas pertinentes para pintura dos elementos de sinalização horizontal.

### 2.1 Características determinantes dos aeródromos para elaboração de projetos de sinalização

Para realizar um projeto de sinalização horizontal, o projetista deve estar atento à algumas características determinantes. São elas:

- Tipo de operação
- Dimensões da pista
- Código de referência do aeródromo

#### 2.1.1 Tipo de operação (VFR, IFR)

Viagem aérea deve ser segura e eficiente; esses requisitos, além de outras coisas, são regras de aviação impostas internacionalmente. Segundo ANAC (2010): "Enquanto operando dentro do Brasil, atender aos requisitos aplicáveis dos RBACs e demais regras vigentes no país. Enquanto operando fora do Brasil, atender às normas do Anexo 2, Regras do Ar, à Convenção Internacional de Aviação Civil ou aos regulamentos do país estrangeiro sobrevoado, o que se aplicar, e a quaisquer regras dos RBHAs 61 e 91...". Os regulamentos brasileiros da aviação civil (RBAC) e os regulamentos brasileiros de homologação aeronáutica (RBHA) são as normas que se aplicam dentro do território brasileiro. Já o Anexo 2 refere-se a norma original da ICAO.

A aeronave deve voar de acordo com as regras de voo visual (VFR) ou com as regras de voo por instrumentos (IFR).

O RBAC 135 subparte D estabelece as limitações para as operações VFR e IFR quanto altitudes a serem respeitadas e condições meteorológicas seguras.

**Visual Flight Rules (VFR)** São regras as quais o piloto orienta-se por referências visuais externas, sem a necessidade do auxílio de instrumentação.

Segundo ANAC (2010), RBAC 135 item 135.203(a)(1), nenhum piloto de avião pode operar VFR , durante o dia:

- I. sobre cidades, povoados, lugares habitados e sobre grupo de pessoas ao ar livre, em altura inferior a 1000 pés acima do mais alto obstáculo existente dentro de um círculo horizontal, com centro na aeronave e raio de 600 m (2000 pés); ou
- II. em lugares não citados em (a)(1)(i) desta seção, em altura inferior a 150 m (500 pés) acima da superfície e afastado lateralmente de qualquer obstáculo de, pelo menos, 150 m (500 pés).

Ainda no item 135.203, segundo ANAC (2010), durante a noite, o piloto não deve voar por VFR, caso a altura seja menor que 1000 pés acima do obstáculo mais alto em uma faixa de 8 km (5 milhas) para cada lado da trajetória pretendida ou altura menor que 2000 pés acima do obstáculo mais alto existente, se o piloto estiver sobrevoando uma região montanhosa, ao longo da trajetória pretendida em faixa com a citada largura.

Quanto aos requisitos de visibilidade no voo VFR, nenhum piloto pode voar em espaço aéreo não controlado caso o teto for inferior a 1000 pés (300 m), a não ser que haja uma visibilidade em voo de pelo menos 2 milhas terrestres (3,5 km).

Quanto às condições meteorológicas, se houver formações meteorológicas abaixo do nível de voo mas estas não interfiram mais que 50% da visão do piloto, e que a aeronave possa se manter longe de nuvens a uma distância de 1500 m horizontalmente e 300 m verticalmente, e que o voo seja realizado abaixo do nível de voo 150 a uma velocidade inferior a 380 nós, é permitido o voo VFR.

**Instrument Flight Rules (IFR)** IFR é o conjunto de regras das quais o piloto se utiliza para conduzir uma aeronave orientando-se pelos instrumentos a bordo, ao invés de se orientar por referências visuais exteriores a essa aeronave.

Para voar por IFR, a aeronave deve ser equipada com instrumentos adequados e instrumentos de navegação apropriados para a rota de voo. Além disso, o aeródromo também necessita um procedimento de aproximação por instrumentos aprovado.

Ainda, de acordo com ANAC (2010): "Ninguém pode operar uma aeronave em voo IFR, a não ser de acordo com as regras de voo por instrumentos estabelecidas por este regulamento

e pelo Comando da Aeronáutica ou pelas autoridades aeronáuticas do país sobrevoado, quando operando no estrangeiro."

Quanto às condições mínimas meteorológicas do aeródromo de destino: "Ninguém pode decolar uma aeronave de um aeródromo em voo IFR ou começar uma operação IFR, a menos que as últimas informações ou previsões meteorológicas indiquem que as condições atmosféricas no horário estimado de chegada ao próximo aeródromo onde se pretende pousar estarão nos mínimos ou acima dos mínimos aprovados para pouso IFR no mesmo." (ANAC, 2010).

Conforme ICAO (2005), consta no anexo 2 os limites de altitude para o voo IFR, do original em inglês:

1. sobre um terreno alto ou em áreas montanhosas, a um nível de pelo menos 600 m (2000 pés) sobre o obstáculo mais alto localizado dentro de 8 km da posição estimada da aeronave;
2. qualquer outro lugar do que o especificado no item anterior, a um nível de pelo menos 300 m (1000 pés) sobre o obstáculo mais alto localizado dentro de 8 km da posição estimada da aeronave.

Quando uma aeronave operando sob IFR iniciar o procedimento de pouso, as manobras realizadas nesse momento também são chamadas de "aproximação por instrumentos". Existem 4 tipos de aproximação por instrumentos. São eles:

1. IFR Não Precisão;
2. IFR Precisão CAT I;
3. IFR Precisão CAT II;
4. IFR Precisão CAT III.

Ainda a categoria III possui três subdivisões, sendo eles: A; B e C.

A classificação de IFR vai da mais básica até a mais complexa, no quesito instrumentação. Enquanto a aproximação IFR não precisão utiliza-se apenas de informações horizontais, a aproximação IFR precisão utiliza-se tanto das informações horizontais como das verticais para guiar o piloto. A ordem de classificação da aproximação de precisão também indica qual a altitude de decisão e a alcance visual da pista.



Segundo ANAC (2010), "altitude de decisão (*decision altitude* - DA), referindo-se à operação de aeronaves, significa uma específica altitude, em um procedimento de aproximação por instrumentos, na qual o piloto deve decidir se inicia imediatamente um procedimento de aproximação perdida (arremetida) caso não tenha avistado uma referência visual requerida ou se prossegue na aproximação para pouso. A altitude de decisão é expressa em pés acima do nível médio do mar."

"Alcance visual na pista (*Runway Visual Range* – RVR) significa a distância na qual o piloto de uma aeronave, que se encontra sobre o eixo de uma pista, pode ver os sinais de superfície da pista, luzes limitadoras da pista ou luzes centrais da pista." (ANAC, 2010).

A altitude de decisão e alcance visual da pista se encontram na Tabela 1.

Tabela 1: Altura de decisão e alcance visual da pista

Categoria de IFR	Altitude de decisão (DA)	Alcance visual da pista (RVR)
CAT I	$DA > 60 \text{ m}$	$RVR \geq 550 \text{ m}$
CAT II	$30 \leq DA < 60 \text{ m}$	$RVR \geq 350 \text{ m}$
CAT III A	$\text{Sem } DA < 30 \text{ m}$	$RVR \geq 200 \text{ m}$
CAT III B	$\text{Sem } DA < 15 \text{ m}$	$50 \leq RVR < 200 \text{ m}$
CAT III C	$\text{Sem } DA$	$\text{Sem RVR}$

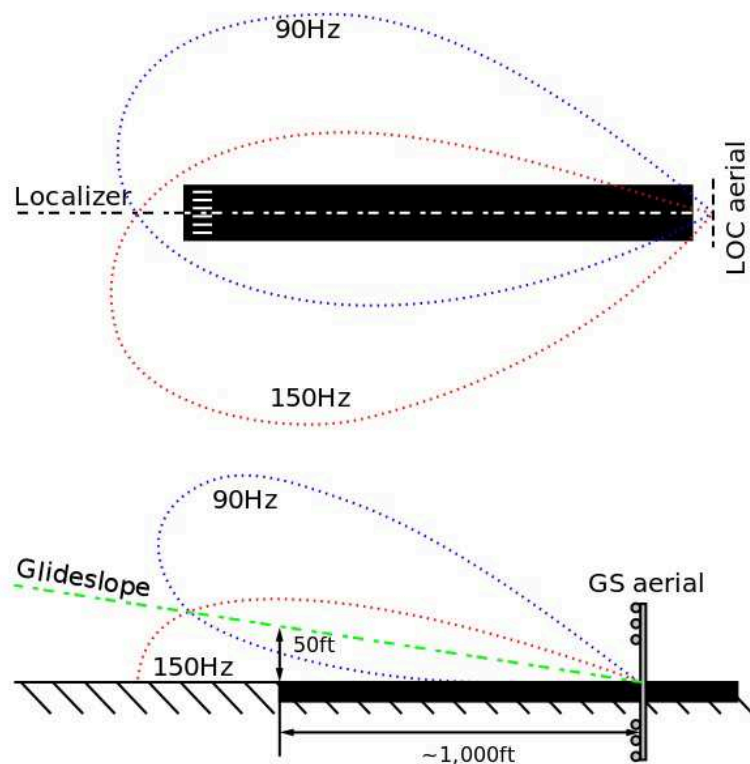
Fonte: (ANAC, 2012b)

Existem vários tipos de sistemas que fazem a aproximação de precisão, tais como *Microwave Landing System* (MLS), *Transponder Landing System* (TLS), *Precision Approach Radar* (PAR) entre outros. Mas o sistema muito usual presente na aproximação e pouso de precisão é o *Instrument Landing System* (ILS). ILS é um sistema baseado na transmissão de sinais de rádio que são recebidos, processados e apresentados nos instrumentos de bordo, de modo a definir uma direção que representa a prolongamento do eixo da pista de uma trajetória de descida tal que permite uma aterrissagem segura dentro da zona de toque de pista. A precisão do ILS é garantida desde o limite de cobertura do mesmo até um ponto próximo à pista de pouso, ou sobre ela, o qual é definido em função da categoria de aproximação para a qual a pista está certificada, (CAT I, CAT II e CAT III).

O ILS possui dois sistemas. O *Localizer* transmite ao piloto a orientação planimétrica do aeródromo e o *glideslope* que indica o ângulo de descida para que o piloto realize o procedimento de pouso, ou seja, a rampa de planeio, conforme a Figura 1.

Já dentro da aeronave, além dos componentes *Localizer* e *glideslope* - Figura 2 - o piloto ainda pode contar com os *markers beacon* - mostrado na Figura 3 - que são indicadores luminosos de aproximação. O marcador externo, ou *outer marker* (OM), fica localizado a apro-

Figura 1: Funcionamento - Localizer e Glideslope

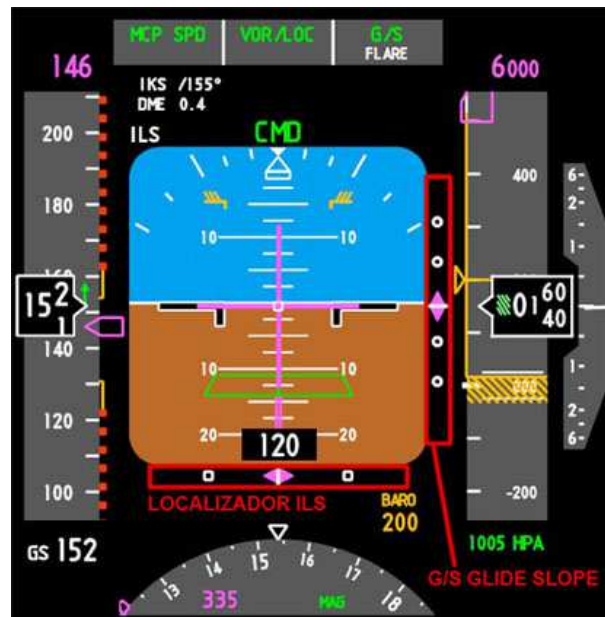


Fonte: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_pouso\\_por\\_instrumentos](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_pouso_por_instrumentos)>

ximadamente 7200 m da pista. O marcador médio, ou *middle marker* (MM), fica localizado a aproximadamente 1050 m. Por fim, o marcador interno, ou *inner marker* (IM), fica a 300 m da pista. Assim, sempre que a aeronave passar por um desses marcadores, um sinal visual e outro sonoro são mostrados ao piloto.

A maioria dos aeroportos brasileiros que possuem o sistema ILS, opera na categoria I. Conforme uma notícia encontrada na página da internet da Secretaria de Aviação Civil da Presidência da República (<<http://www.aviacao.gov.br/noticias/2014/07/brasil-e-referencia-em-sistema-de-pouso-por-aparelho>>), em 2014, o Aeroporto Internacional Governador André Franco Montoro (Guarulhos), Aeroporto Internacional Afonso Pena (Curitiba), Aeroporto Internacional Tom Jobim (Rio de Janeiro) e o Aeroporto Internacional Salgado Filho (Porto Alegre) operavam na categoria II, sendo que os três primeiros iniciaram o processo de implantação do ILS CAT III.

Figura 2: Instrumento - Localizer e Glideslope



Fonte: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_pouso\\_por\\_instrumentos](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_pouso_por_instrumentos)>

Figura 3: Instrumento - Marker beacon



Fonte:<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_pouso\\_por\\_instrumentos](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_pouso_por_instrumentos)>

### 2.1.2 *Mix* de aeronaves

Para se determinar as características da pista, é necessário saber quais as aeronaves que poderão pousar e decolar. Sabendo quais aeronaves, o projetista pode determinar a capacidade de chegada da pista, que é o número de chegadas que ocorre naquela pista. Para isso, é feito um estudo das possíveis aeronaves no chamado *mix* de aeronaves. Segundo YOUNG; WELLS (2014), *mix* de aeronaves é a porcentagem de operações por tipo de aeronave que acontece em um aeroporto por um determinado período de tempo. A classificação das aeronaves é dada pela Tabela 2.

Sabe-se que uma aeronave de pequeno porte possui, em geral, velocidade de aproximação menor do que uma aeronave de maior porte. E as aeronaves de grande porte precisam manter uma separação longitudinal maior. Assim, quando duas aeronaves se aproximam de um

Tabela 2: Categorias do *mix* de aeronaves

Categoria do <i>mix</i> de aeronaves	Peso máximo de decolagem
A,B (pequena)	<5700 kg
C (grande)	5700 - 136000 kg
D (pesada)	>136000 kg

Fonte: FAA AC 150-5060/-5 apud YOUNG; WELLS (2014)

aeroporto, a separação longitudinal exigida entre elas é definida pelas categorias de peso da aeronave que está à frente (YOUNG; WELLS, 2014). As separações longitudinais são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3: Separações longitudinais exigidas para aeronaves chegando a uma pista única quando operando sob IFR (distância em milhas náuticas)

<i>lead/lag</i>	Pequenas	Grandes	Pesadas
Pequenas	3	3	3
Grandes	4	3	3
Pesadas	6	5	4

Fonte: YOUNG; WELLS (2014)

A sigla *lead* e *lag* significam a ordem das aeronaves que se aproximam. *Lead* é a aeronave à frente e *lag* a aeronave que vem em seguida. A Tabela 3 indica que a capacidade de chegada de uma pista é dada em função do *mix* de aeronaves do aeroporto. Quanto maior a variabilidade de aeronaves, menor é a capacidade da pista. Por essa razão, além de outras, adotar mais de uma pista, a fim de separar as chegadas das aeronaves diferentes, se torna uma boa solução para aumentar a capacidade de chegada.

Vale lembrar que a Tabela 3 não se aplica para voos sob VFR. YOUNG; WELLS (2014) explica que, quando duas aeronaves em VFR se aproximam, a distância de separação deve ser suficiente para que a aeronave *lag* não toque a pista antes que a aeronave *lead* já tenha pousado e liberado a pista.

Determinado o *mix* de aeronaves, o projetista pode determinar qual aeronave mais crítica, a que possui maior peso de decolagem, que irá utilizar aquela pista. A partir das informações dessa aeronave, é possível definir qual o comprimento necessário de pista, seu código de referência e largura.

### 2.1.3 Comprimento de pista de pouso e decolagem

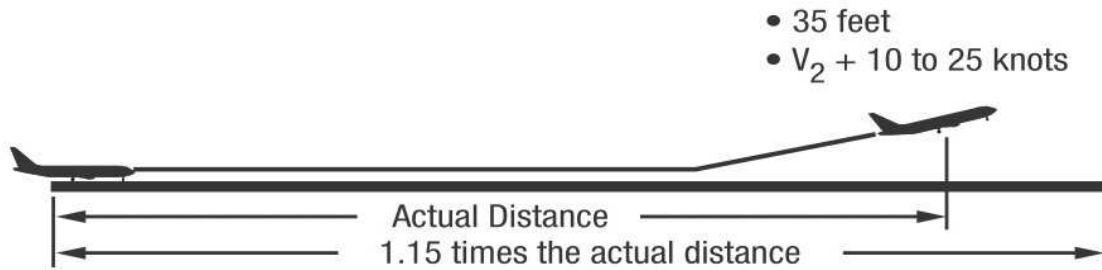
"O comprimento real de pista, tanto para as pistas principais quanto para as secundárias, a ser disponibilizado para uma pista deve satisfazer os requisitos operacionais das aeronaves para as quais a pista é destinada e não deve ser inferior ao maior comprimento determinado ao se aplicarem as correções locais para as operações e características de desempenho das aeronaves relevantes" (ANAC, 2012b).

**Comprimento balanceado de pista** Segundo o manual de treinamento FAA (1992), o comprimento de pista é determinado considerando três eventos.

1. Decolagem sem falha no motor: Comprimento necessário para o piloto iniciar a corrida de decolagem, operando com todos os motores e máxima potência, atingir a velocidade de decisão,  $V_1$ , e levantar a aeronave até 35 pés (10,7 m) de altura com velocidade de início de subida  $V_2$  (Figura 4). Esse comprimento, em geral, equivale a 115% da distância necessária para a aeronave atingir  $V_2$  (distância de decolagem).
2. Decolagem com falha no motor: Comprimento necessário para o piloto iniciar a corrida de decolagem, operando com todos os motores e máxima potência, tendo falha em algum dos motores na velocidade com falha no motor,  $V_{ef}$ , até 1 segundo antes de atingir  $V_1$ , decidir continuar a decolagem, alcançando a velocidade de rotação,  $V_r$ , e subsequente velocidade de decolagem,  $V_{lof}$ , sendo possível tirar a aeronave da pista e alcançando  $V_2$  a uma altura de 35 pés (Figura 5).
3. Interrompendo a decolagem: Comprimento necessário para o piloto iniciar a corrida de decolagem, operando com todos os motores e máxima potência, tendo falha em algum dos motores ou outro problema na velocidade de evento,  $V_{event}$ , antes de atingir  $V_1$ , reconhecendo o problema e decidindo abortar a decolagem até parar a aeronave (Figura 6).

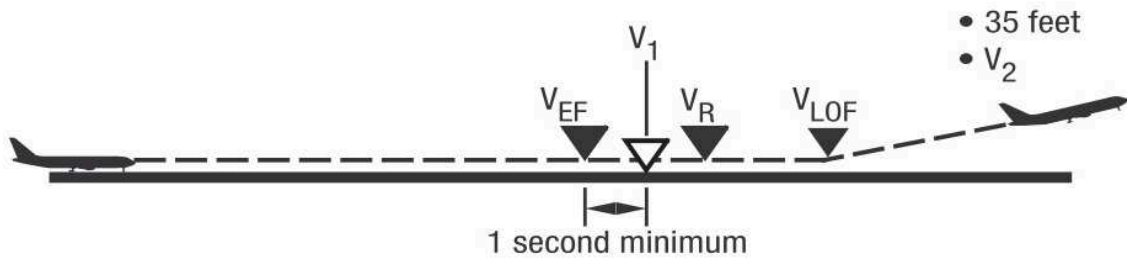
A velocidade  $V_1$  é dita como velocidade de decisão, pois a decisão do piloto de decolar ou não deve ser feita até esse momento. Caso contrário, o piloto não terá espaço suficiente para realizar o procedimento de parada da aeronave. Sendo assim, FAA (1992) define  $V_1$  sendo a máxima velocidade a qual se pode realizar o procedimento de parada no espaço de pista restante caso seja a decisão de cancelar a decolagem. Caso a decisão seja continuar a decolagem,  $V_1$  é o ponto mais próximo do início da decolagem o qual a aeronave possa alcançar 10,7 m com falha no motor. Além disso,  $V_1$  não possui um valor fixo.

Figura 4: Decolagem sem falha na turbina



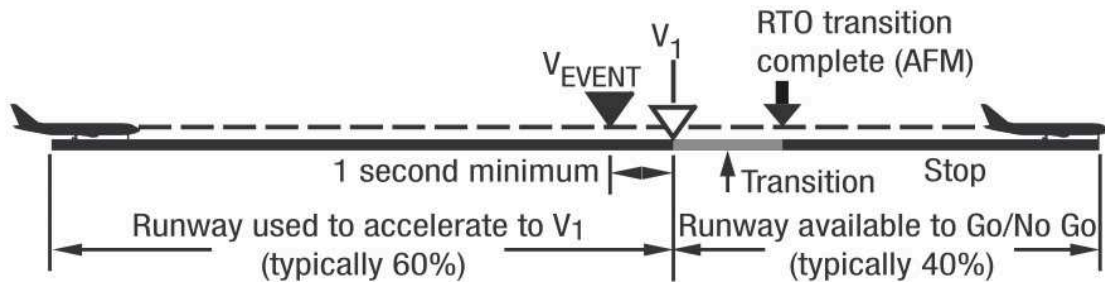
Fonte: FAA (1992)

Figura 5: Decolagem com falha na turbina



Fonte: FAA (1992)

Figura 6: Corrida e parada



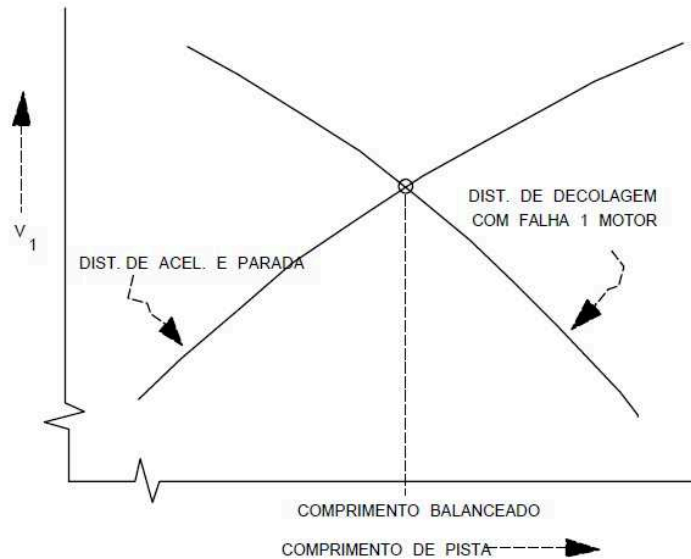
Fonte: FAA (1992)

As velocidades  $V_r$ ,  $V_{lof}$  e  $V_2$ , são funções de peso bruto da aeronave e posição do *flap*, já a velocidade  $V_1$  pode ser escolhida dentro de certos limites que dependem também da pressão, temperatura e peso bruto.

Visto que há uma relação entre o desempenho da aeronave na decolagem e velocidade  $V_1$ , e que  $V_1$  é variável, o comprimento de pista pode ser determinado tendo a distância de aceleração e parada igual ao comprimento de decolagem com falha no motor. Dessa forma, o comprimento de pista é denominado como comprimento de pista balanceado, mostrado na

Figura 7

Figura 7: comprimento balanceado de pista



Fonte: SORIA (2006)

**Distâncias disponíveis** O comprimento de pista, sendo uma das mais importantes características, influencia consideravelmente a operação de uma aeronave em uma pista de pouso e decolagem (URBANEK, 2013). Assim, devem ser especificados os comprimentos ou distâncias disponíveis para que o piloto possa planejar suas operações. Essas distâncias disponíveis também são chamadas distâncias declaradas, Figura 8 (a) e (b), e cada uma da cabeceira da pista tem suas distâncias declaradas, não necessariamente iguais. São elas:

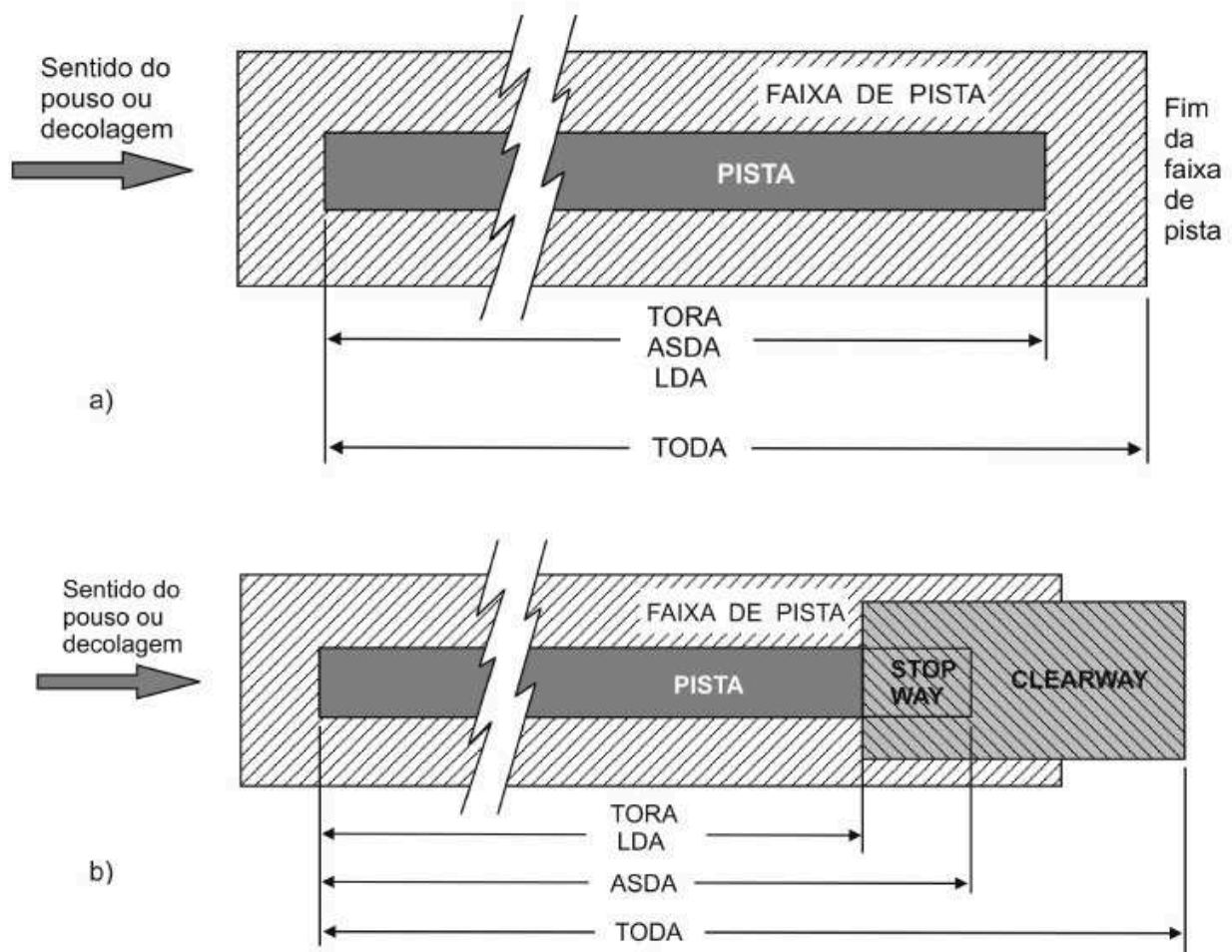
- **Pista disponível para corrida de decolagem - TORA (Take-Off Run Available)**  
- Comprimento declarado da pista, disponível para corrida no solo de uma aeronave que decola.
- **Distância disponível para decolagem - TODA (Take-Off Distance Available)**  
- Comprimento da TORA, somado ao comprimento da Zona Livre de Obstáculos (Clearway), se existente.
- **Distância disponível para aceleração e parada - ASDA (Accelerate - Stop Distance Available)** - Comprimento da TORA, somado ao comprimento da Zona de Parada (Stopway), se existente.
- **Distância disponível para pouso - LDA (Landing Distance Available)** - Comprimento declarado de pista, disponível para a corrida no solo de uma aeronave que pouso.

A cabeceira da pista ainda pode haver um "*Clearway*", um "*Stopway*" ou ambos, Figura 8 (b), sendo eles:

**Zona livre de obstáculos ("*Clearway*")** - Área retangular disponível a aeronave possa realizar parte de sua subida inicial até a altura especificada.

**Zona de parada ("*Stopway*")** - Área retangular, situada no prolongamento da pista no sentido da decolagem, com finalidade de servir como zona de parada de aeronaves.

Figura 8: Distâncias declaradas



Fonte: SORIA (2006)

**Comprimento de pista quanto ao desempenho da aeronave** Foi falado anteriormente sobre o *mix* de aeronaves. Mas, dentre as diversas aeronaves que irão operar em um aeroporto, existe aquela que é mais crítica. Crítica no sentido da aeronave precisar de um maior comprimento de pista comparando às outras. Por conta disso, os fabricantes desenvolveram



as curvas de performance das aeronaves, para servir como ferramenta no *design* e projeto de pista. Segundo ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT (2011) essas curvas, publicadas pela FAA, possuem dados operacionais e testes de voo de quase toda aeronave civil usadas atualmente. As curvas variam em formatos e complexidade.

Para determinar o comprimento de pista, o projetista também deve levar em conta o peso de pouso e decolagem do avião, elevação do aeroporto, temperatura média do aeroporto, entre outros. Então o projetista entra com esses dados nos ábacos e define qual o comprimento de pista necessário.

**Comprimento de pista de referência do avião** Segundo ICAO (2013), do original em inglês, o comprimento de pista de referência é definido como:

“É o mínimo de comprimento de pista necessário para decolagem com o peso máximo de decolagem, ao nível do mar, condições atmosféricas padrão, calmaria, e pista de declive nula, como mostrado no manual de voo pertinente, estabelecido pela autoridade homologadora, ou dados equivalentes fornecidos pelo fabricante da aeronave. Comprimento de pista significa comprimento balanceado de pista para aviões, se aplicável, ou distancia de decolagem nos outros casos.”.

De acordo ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT (2011) o comprimento de referência pode ser obtido pelos manuais de voo disponibilizados pelos fabricantes. Esse comprimento apenas é usado para definir o código de referência do aeródromo, não influencia no comprimento real da pista.

Em certas ocasiões, é preciso converter um comprimento de pista existente em comprimento de referência. Para isso, o comprimento de referência será o comprimento da pista dividido pelos fatores de condição local de elevação, temperatura e gradiente (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011).

#### **2.1.4 Código de referência do aeródromo**

Segundo ANAC (2012b), o código do aeródromo é composto por dois elementos, que estão relacionados com as dimensões e as características de desempenho da aeronave crítica. O primeiro elemento é um número baseado no comprimento básico de pista avião de referência e o segundo elemento é uma letra baseada na envergadura da aeronave e na distância entre as rodas

externas do trem de pouso principal. Portanto o código é selecionado para fins de planejamento do aeródromo, de acordo com as características das aeronaves que deverá atender.

O número de código para o elemento 1 deve ser determinado pela Tabela 4, coluna 1, selecionando-se o número de código correspondente ao maior valor dos comprimentos básicos de pista das aeronaves para as quais a pista deverá atender.

A letra de código para o elemento 2 deve ser determinada pela Tabela 4 coluna 3, selecionando-se a letra de código que corresponde à maior envergadura, ou à maior distância entre as rodas externas do trem de pouso principal, mostrado na Figura 9, a que possuir a letra de código mais exigente dentre as aeronaves para as quais a facilidade será destinada.

Tabela 4: Código de referência do aeródromo

Número do código	Elemento 1 do código Comprimento básico de pista requerido pela aeronave	Letra do código	Elemento 2 do código Envergadura	Distância entre rodas externas do trem de pouso principal
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Inferior a 800 m.	A	Inferior a 15 m.	Inferior a 4,5 m
2	De 800 m a 1200 m exclusive.	B	De 15 m a 24 m exclusive.	De 4,5 m a 6 m exclusive.
3	De 1200 m a 1800 m exclusive.	C	De 24 m a 36 m exclusive.	De 6 m a 9 m exclusive.
4	1800 m e acima	D	De 36 m a 52 m exclusive.	De 9 m a 14 m exclusive.
		E	De 52 m a 65 m exclusive.	De 9 m a 14 m exclusive.
		F	De 65 m a 80 m exclusive.	De 14 m a 16 m exclusive.

Fonte: ANAC (2012b)

### 2.1.5 Largura de pistas de pouso e decolagem

A largura de uma pista de pouso e decolagem não deve ser inferior à dimensão apropriada especificada na Tabela 5, relacionando a largura da pista em função do código de referência. Uma pista de aproximação de precisão não deve ter largura inferior a 30 m quando o número de código for 1 ou 2 (ANAC, 2012b):

Figura 9: Envergadura e distância entre rodas



Tabela 5: Largura de pista

Número do código	Letra do código					
	A	B	C	D	E	F
1	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m

Fonte: ANAC (2012b)

## 2.2 Elementos da sinalização horizontal e sua regulamentação

"Sinalização horizontal é toda informação aeronáutica, que compõe os auxílios visuais à navegação aérea, por meio de pintura na pista de pouso e decolagem, na pista de táxi, no pátio de aeronaves ou em outra área do aeródromo, destinada a orientar ou prestar informações aos pilotos de aeronaves e motoristas que trafegam nas vias de serviços"(ANAC, 2012b).

O RBAC 154 fornece todas as instruções do que é necessário para projetar uma pista de pouso e decolagem. Essas instruções estão bem claras e objetivas, por isso elas foram inseridas nessa seção quase por completo. O regulamento foi feito com base no Anexo 14, sendo estas especificações internacionais. Portanto, muitas informações contidas no regulamento, são idênticas às contidas no Anexo 14.

De acordo com ANAC (2012b), com relação à intersecção de pistas, quando existir, e às características gerais da sinalização horizontal:

Na intersecção de duas (ou mais) pistas de pouso e decolagem, a sinaliza-

ção horizontal da pista mais importante, salvo pelas faixas de borda de pista de pouso e decolagem, deve ser traçada, e a da(s) outra(s) pista(s) deve ser interrompida. As faixas de borda de pista de pouso e decolagem da pista mais importante podem tanto ser continuadas através da interseção, como interrompidas.

A ordem de importância das pistas para a disposição da sinalização horizontal deve ser a seguinte:

1. pistas de aproximação de precisão;
2. pistas de aproximação de não-precisão;
3. pista para operação visual.

Em caso de interseção da pista de pouso e decolagem com a pista de táxi, a sinalização da pista de pouso e decolagem deverá ser contínua e a de táxi deverá ser interrompida, ressalvando-se que as faixas de sinalização de bordo de pista, da pista de pouso e decolagem, poderão ser interrompidas.

A cores da sinalização horizontal da pista de pouso e decolagem deve ser branca e quando necessário proporcionar contraste, as sinalizações devem ser contornadas com a cor preta.

A sinalização horizontal deve consistir em áreas contínuas preenchidas ou de uma série de faixas contínuas longitudinais de efeito equivalente às áreas preenchidas.

Caso o aeródromo opere em períodos noturnos, a sinalização horizontal do pavimento deve ser feita com materiais refletivos desenvolvidos para aumentar a visibilidade da sinalização.

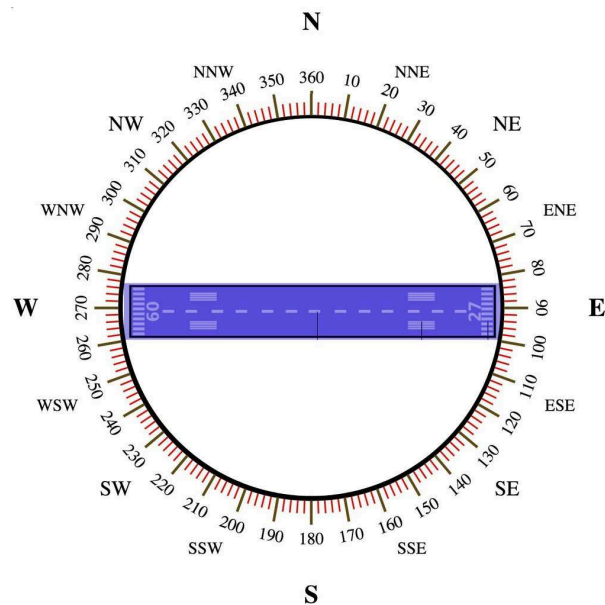
A seguir serão abordados cada elemento de sinalização horizontal, individualmente.

### **2.2.1 Designação de pista**

Segundo ANAC (2012b), todos os aeródromos, independente de sua operação, comprimento ou largura, deve possuir a sinalização de designação. A designação de pista é um número de dois algarismos que indica qual sentido a pista está orientada. O número será o inteiro mais próximo da décima parte do azimuth magnético do eixo da pista, medido no sentido horário a partir do norte magnético, como mostra a Figura 10. Uma aeronave em processo de pouso pode se aproximar tanto de um lado da pista como do outro, conforme a orientação do vento, portanto

a pista deve possuir o número de designação nos dois sentidos. Sendo assim, a designação de um sentido será o suplementar do outro.

Figura 10: Orientação para designação de pista



Fonte: <<http://www.avioesemusicas.com/os-numeros-pintados-nas-pistas-de-pouso-e-a-faixa-de-pedestre.html>>

A sinalização horizontal de designação de pista de pouso e decolagem deve estar disposta nas extremidades de uma pista de pouso e decolagem pavimentada ou não pavimentada, e deve estar localizada na cabeceira (ANAC, 2012b), conforme a Figura 11.

Quando houver pistas paralelas, ANAC (2012b) diz:

No caso de pistas de pouso e decolagem paralelas, além do número que designa a pista, a sinalização deve conter uma letra, na ordem demonstrada da esquerda para a direita, quando vistas da direção de aproximação.

- para duas pistas paralelas: "L" "R";
- para três pistas paralelas: "L" "C" "R";
- para quatro pistas paralelas: "L" "R" "L" "R";
- para cinco pistas paralelas: "L" "C" "R" "L" "R" ou "L" "R" "L" "C" "R";
- para seis pistas paralelas: "L" "C" "R" "L" "C" "R".

Diagram A: PISTAS DE APROXIMAÇÃO DE NÃO-PRECISÃO PRECISÃO DE CATEGORIA I 0,45 m mm. PISTAS DE APROXIMAÇÃO DE PRECISÃO DE CATEGORIAS II E III 0,9 m mm. Dimensions: 20 m, 30 m, 12 m, 9 m mm, 12 m mm, 30 m mm, 6 m mm. Scale: a = 1,8m approx.

Diagram B: PISTAS PARALELAS. Dimensions: 20 m, 30 m, 12 m, 9 m mm, 12 m mm, 30 m mm, 6 m mm. Scale: a = 1,8m approx.

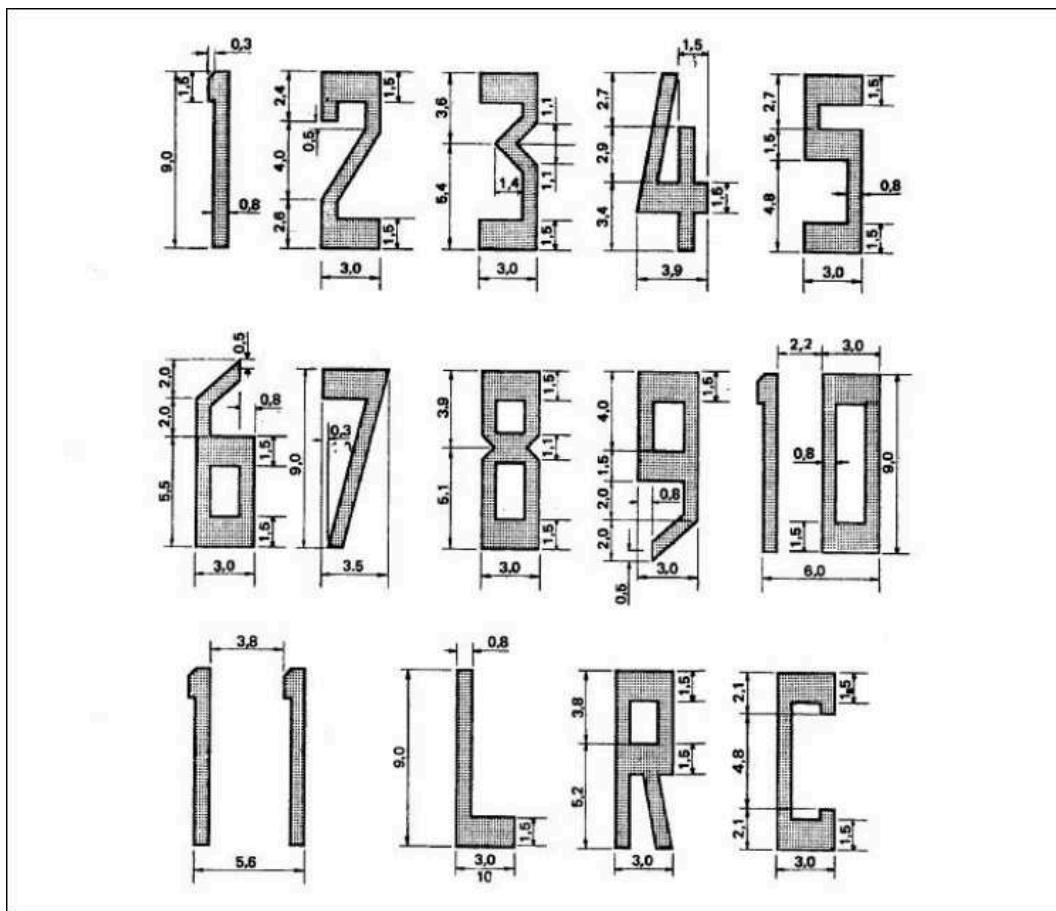
Diagram C: CONFIGURAÇÃO OPCIONAL. Dimensions: 30 m, 20 m, 30 m, 30 m, 30 m, 30 m mm, 20 m. Scale: a = 1,8m approx.

Com relação às dimensões, os números e letras devem seguir a proporção e formato demonstrado na Figura 12, não tendo dimensões menores do que as descritas. Dimensões maiores devem ser utilizadas de modo a preencher adequadamente o vão entre as faixas de sinalização horizontal da cabeceira, como mostra a Figura 11 (C).

De acordo com ANAC (2012b), a sinalização de eixo da pista deve ser posicionada ao longo do eixo da pista, entre a sinalização horizontal de designação de pista de pouso e decolagem, conforme demonstrado na Figura 11. Ela deve consistir numa linha em faixas espaçadas por intervalos uniformes, a extensão de uma faixa mais um intervalo não deve ser inferior a 50 m ou superior a 75 m. A extensão de cada faixa deve ser, no mínimo, igual ao comprimento do intervalo ou 30 m, o que for de maior valor.

20

Figura 12: Formato e proporções dos números e letras para sinalização horizontal de designação de pistas de pouso e decolagem (dimensões em m)



Fonte: ANAC (2012b)

- 0,90 m, em pistas de aproximação de precisão de Categorias II e III;
- 0,45 m, em pistas de aproximação de não-precisão com números de código 3 ou 4 e pistas de aproximação de precisão de Categoria I;
- 0,30 m, em pistas de aproximação de não-precisão com número de código 1 ou 2 e pistas para operação visual.

### 2.2.3 Sinalização horizontal de cabeceira

Em relação à sinalização de cabeceira, ANAC (2012b) diz:

A sinalização horizontal de cabeceira deve ser disposta nas cabeceiras de pistas pavimentadas operadas por instrumento e em pistas pavimentadas

de operação visual classificadas com números de código 3 ou 4, e devem se iniciar a 6 m a partir da cabeceira. Ela deve consistir num padrão de faixas longitudinais de dimensões uniformes, dispostas simetricamente ao eixo da pista de pouso e decolagem, conforme demonstrado na Figura 11 (A) e (B) em pistas com largura de 45 m. O número de faixas deve estar em conformidade com a largura da pista, como a Tabela 6:

Tabela 6: Número de faixas

Largura da pista	Número de faixas
18 m	4
23 m	6
30 m	8
45 m	12
60 m	16

Fonte: ANAC (2012b)

NOTA - Ressalve-se que, em pistas de aproximação de não-precisão e pistas para operação visual com largura de 45 m ou mais, as faixas podem ser dispostas conforme a Figura 11 (C).

As faixas devem se estender lateralmente até 3 m da borda da pista de pouso e decolagem, ou a uma distância de 27 m para cada lado do eixo da pista, ou seja, a medida que resultar na menor distância lateral. Quando a sinalização horizontal de designação de pista de pouso e decolagem for colocada dentro das faixas de sinalização horizontal de cabeceira, deve haver um mínimo de três faixas em cada lado do eixo da pista. Quando a sinalização horizontal de designação da pista de pouso e decolagem for colocada acima das faixas de sinalização horizontal de cabeceira, as faixas devem ser contínuas, cruzando a pista. As faixas devem ter, no mínimo, 30 m de comprimento e cerca de 1,80 m de largura, com espaçamentos de aproximadamente 1,80 m entre elas, ressaltando-se que, quando as faixas cruzarem totalmente a pista de pouso e decolagem, um espaçamento duplo poderá ser utilizado para separar as duas faixas mais próximas ao eixo da pista e, no caso em que houver sinalização horizontal de designação entre as faixas da cabeceira, esse espaçamento deve ser de 22,5 m.

#### 2.2.4 Sinalização horizontal de ponto de visada

De acordo com ANAC (2012b), quanto à sinalização de ponto de visada:



A sinalização horizontal de ponto de visada deve estar disposta em cada extremidade de aproximação de uma pista para operação por instrumento pavimentada com número de código 2, 3 ou 4. A sinalização não deve começar mais perto da cabeceira do que a distância indicada na coluna apropriada Tabela 7, ressaltando-se que, em pistas equipadas com sistemas visuais de indicação de rampa de aproximação, o início da sinalização horizontal deve coincidir com a origem da rampa de aproximação visual.

Tabela 7: Sinalização horizontal do ponto de visada

Localização e dimensões (1)	Distância de pouso disponível			
	Menor que 800 m (2)	800 m até 1200 m, exclusive (3)	1200 m até 2400 m, exclusive (4)	2400 m ou maior (5)
Distância da cabeceira ao início das sinalizações horizontais	150 m	250 m	300 m	400 m
Extensão da faixa	30 - 45 m	31 - 45 m	45 - 60 m	46 - 60 m
Largura da faixa <sup>a</sup>	4 m	6 m	6 - 10 m <sup>b</sup>	6 - 10 m <sup>b</sup>
Espaçamento lateral entre as laterais internas das faixas	6 m <sup>c</sup>	9 m <sup>c</sup>	18 - 22,5 m	18 - 22,5 m

a. As maiores dimensões das variações especificadas estão destinadas ao uso em situações onde um maior contraste for necessário

b. O espaçamento lateral pode ser variado dentro desses limites, de modo a minimizar a contaminação da sinalização horizontal por depósitos de borracha

c. Esses cálculos foram deduzidos com base na distância entre as rodas externas do trem de pouso principal, que representa o elemento 2 do código de referência de aeródromos

Fonte: ANAC (2012b)

A sinalização horizontal de ponto de visada deve consistir em duas faixas contrastantes. As dimensões das faixas e o espaçamento lateral entre suas laterais internas devem estar de acordo com as disposições da coluna apropriada da Tabela 7. Quando houver sinalização horizontal de zona de toque de pista, o espaçamento lateral entre as faixas deve ser o mesmo que o espaçamento das sinalizações horizontais de zona de toque.

### 2.2.5 Sinalização de zona de toque

"A sinalização horizontal de zona de toque deve ser disposta na zona de toque de pistas de aproximação de precisão pavimentadas com número de código 2, 3 ou 4, consistindo em pares de retângulos dispostos simetricamente ao eixo da pista de pouso e decolagem, com o número desses pares relacionados à distância de pouso disponível; e, quando a sinalização horizontal for

disposta nos dois sentidos de aproximação da pista, o número de pares de sinais será relacionado à distância entre as cabeceiras" (ANAC, 2012b), indicado na Tabela 8.

Tabela 8: Faixas de zona de toque

Distância de pouso disponível ou distância entre as cabeceiras	Par(es) de sinalização horizontal
Menor que 900 m	1
900 m até 1200 m, exclusive	2
1200 m até 1500 m, exclusive	3
1500 m até 2400 m, exclusive	4
2400 m ou maior	6

Fonte: ANAC (2012b)

Quanto as especificações técnicas de dimensões e espaçamentos ANAC (2012b) diz:

A sinalização horizontal de zona de toque deve estar em conformidade com um dos dois padrões demonstrados na Figura 13. Para o padrão demonstrado na Figura 13 (A), a sinalização horizontal não deve ter menos do que 22,5 m de comprimento e 3m de largura. Para o padrão demonstrado na Figura 13 (B), cada faixa de cada sinalização horizontal não deve ter menos que 22,5 m de comprimento e 1,8 m de largura, com um espaçamento de 1,5 m entre faixas adjacentes. O espaçamento lateral entre as laterais internas dos retângulos deve ser igual ao espaçamento das sinalizações horizontais de ponto de visada, quando houver. Onde não houver sinalizações horizontais de ponto de visada, o espaçamento lateral entre as laterais internas dos retângulos deve corresponder ao espaçamento lateral especificado para as sinalizações horizontais de ponto de visada na Tabela 7 (colunas 2, 3, 4 ou 5, conforme apropriado). Os pares de sinalizações horizontais devem ser dispostos em espaçamentos longitudinais de 150 m, a partir da cabeceira, ressaltando-se que pares de sinalizações horizontais de zona de toque coincidentes ou localizados a menos de 50 m da sinalização horizontal de ponto de visada devem ser apagados.

### 2.2.6 Sinalização horizontal de borda de pista de pouso e decolagem

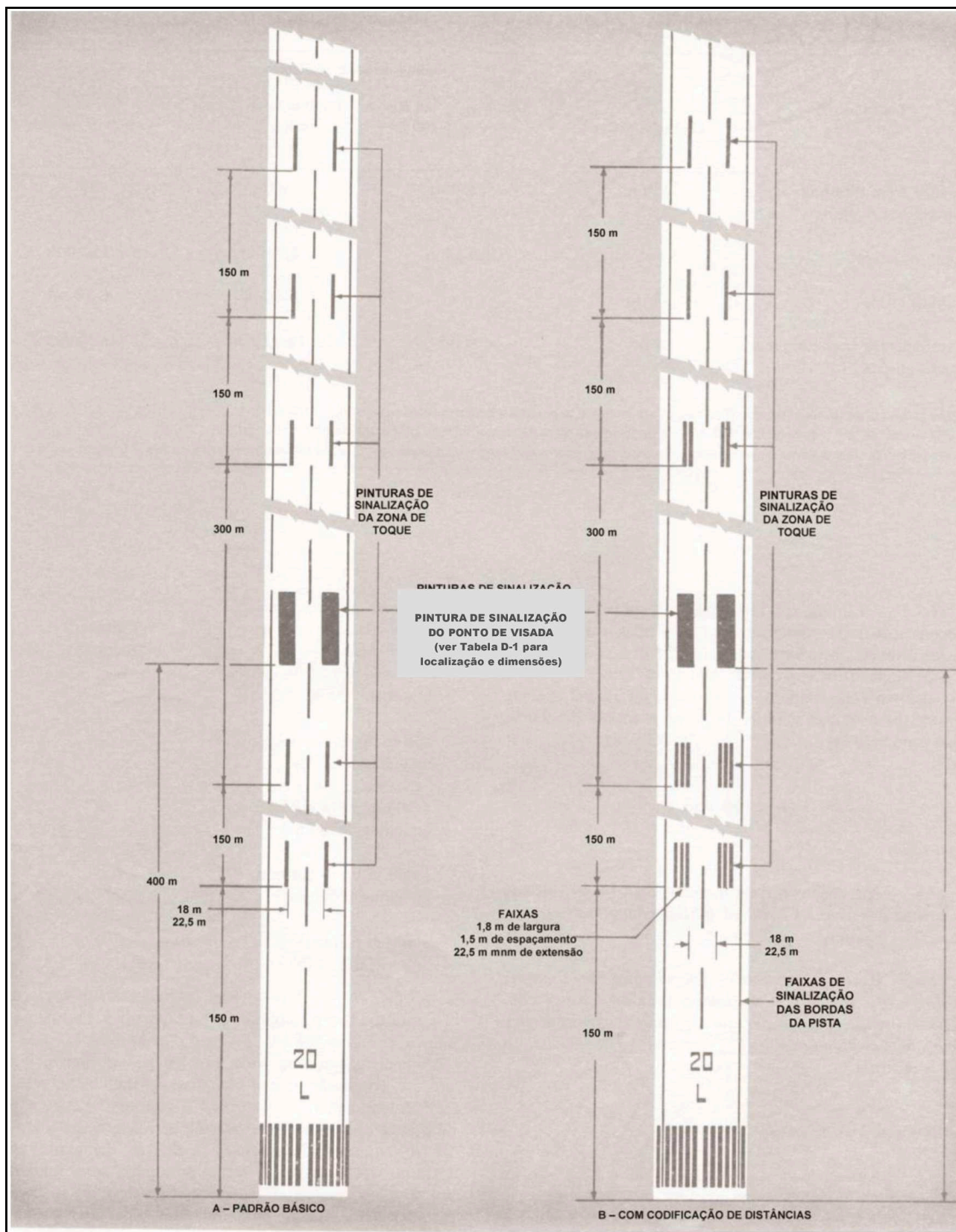
"A sinalização horizontal de borda de pista de pouso e decolagem deve estar disposta entre as cabeceiras de uma pista pavimentada onde houver falta de contraste entre as bordas da pista e o acostamento ou o terreno ao redor. Em caso de pistas de aproximação de precisão, a sinalização de borda deve estar presente independente do contraste entre as bordas da pista e o acostamento ou o terreno ao redor." (ANAC, 2012b).

A sinalização horizontal de borda de pista de pouso e decolagem deve consistir em duas faixas, localizadas ao longo de cada uma das bordas da pista, ressalvando-se que, quando a pista for mais larga que 60 m, as faixas devem estar localizadas a 30 m do eixo da pista. Ela deve ter uma largura total de, no mínimo, 0,9 m em pistas com 30 m ou mais de largura e, no mínimo, 0,45 m em pistas com largura menor do que 30 m.

## **2.3 Recursos de software existentes para auxílio em projetos de sinalização de aeródromos**

Antes de iniciar o processo de desenvolvimento do programa, foi pesquisado se havia algum tipo de software o qual propusesse o mesmo resultado. Não foi encontrado nenhuma referência sobre software existente.

Figura 13: Sinalização de ponto de visada e zona de toque

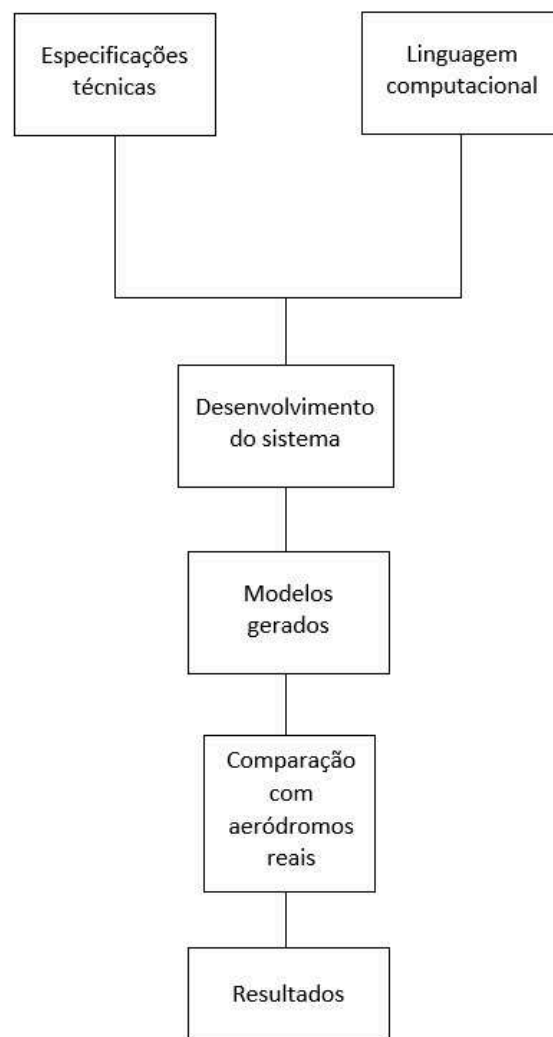


Fonte: ANAC (2012b)

### 3 Método

A metodologia utilizada para o presente trabalho seguiu a sequência mostrada na Figura 14. A próxima etapa será escolher a linguagem computacional mais adequada. Em seguida, realizar o desenvolvimento do sistema com base na bibliografia pesquisada e por fim fazer uma análise dos resultados dos projetos gerados.

Figura 14: Fluxograma do método



### 3.1 Escolha de linguagem de programação apropriada

Como o objetivo do programa é criar desenhos de pista de pouso e decolagem, o programa deve gerar um arquivo apropriado para essa função. Há alguns tipos de arquivos que possuem a extensão de CAD. Um deles é que foi escolhido para esse trabalho é o arquivo *Drawing Exchange Format* (DXF). O DXF é um arquivo de intercambio de CAD, podendo ser aberto em vários programas diferentes já que se trata de um arquivo universal.

Sendo necessária a criação da pista em um arquivo DXF, era preciso escolher uma linguagem que suportasse a criação desses arquivos. Através de um conhecimento prévio, já se sabia que *Python* e *Java* possuíam módulos para a criação dos desenhos. Dessa forma, foi feita uma pesquisa sobre os módulos e bibliotecas para a criação de arquivos DXF até que foi encontrado o módulo *DxfWrite*, o qual possui uma biblioteca completa além de ser bem sucinta e de fácil aplicação para realizar a tarefa proposta.

"*Python* é uma linguagem de altíssimo nível (em inglês, *Very High Level Language*) orientada a objeto, de tipagem dinâmica e forte, interpretada e interativa."(BORGES, 2010).

Criado por Guido Van Rossum em 1990, no Instituto Nacional de Pesquisa para Matemática e Ciência da Computação da Holanda (CWI), a linguagem tinha foco, originalmente, em usuários como físicos e engenheiros. O *Python* foi concebido a partir de outra linguagem existente na época, chamada ABC. Empresas grandes de alta tecnologia, como Google, Yahoo, Microsoft, Nokia, Disney, aceitam muito bem a linguagem hoje em dia (BORGES, 2010).

Segundo BORGES (2010), *Python* possui uma sintaxe clara e concisa, favorecendo a legibilidade do código fonte, o que torna a linguagem mais produtiva. Por ser uma linguagem de alto nível, *Python* inclui estruturas como (listas, dicionários, data/hora, complexos e outras), sem contar a vasta coleção de módulos prontos para uso e *frameworks* de terceiros que podem ser adicionados. *Python* também possui orientação a objetos. Ele é interpretado através de *bytecode* pela máquina virtual *Python*, tornando o código portátil. Dessa forma, é possível compilar aplicações em uma plataforma e rodar em outros sistemas ou ainda executar direto do código fonte. Recursos encontrados em outras linguagens modernas como: geradores, introspecção, persistência, metaclasses e unidades de testes, também estão presentes em *Python*.

*Python* é utilizado como linguagem principal no desenvolvimento de sistemas, mas também é bastante utilizado como linguagem *script* em vários outros softwares. Assim, é possível automatizar tarefas e adicionar novas funcionalidades como: BrOffice.org, PostgreSQL, Blender, GIMP e Inkscape. Sem contar a possibilidade de integrar o *Python* a outras linguagens,

como a linguagem C e *Fortran*. Resumindo, a linguagem apresenta muitas similaridades com outras linguagens dinâmicas como *Perl* e *Ruby*. (BORGES, 2010).

Por conta dessas características, *Python* foi a escolha de linguagem a ser utilizada nesse trabalho.

## 3.2 Desenvolvimento

Após ter escolhido a linguagem computacional apropriada, iniciou-se a etapa de desenvolvimento do sistema. Foi preciso conhecer as características dos elementos para assim pensar em um procedimento que fizesse os desenhos no computador.

### 3.2.1 Estudo dos elementos de sinalização horizontal previstos

Para o desenvolvimento, primeiramente, foi preciso transcrever todas as especificações técnicas em código de programação. Já que o objetivo principal deste trabalho é automatizar o processo de projetos da sinalização horizontal, o programa deve ter, dentro do seu código fonte, as informações para essa tarefa. Assim, o projetista apenas terá que indicar quais os dados de entrada - tipo de operação, comprimento e largura de pista - para obter o desenho da sinalização horizontal da pista. Para isso foi necessário um estudo para saber, dependendo dos dados de entradas, quais elementos de sinalização são obrigatórios, quais não são, a largura e comprimento desses elementos e a posição deles. Foi feita a Tabela 9 a fim de auxiliar com os elementos que devem ser criados.

Tabela 9: Resumo dos elementos existentes na pista

Tipo de operação	VFR	IFR não precisão	IFR precisão
Designação de pista	X	X	X
Eixo de pista	X	X	X
Faixas de cabeceira	X	X	X
Ponto de visada	-	X	X
Zona de toque	-	-	X
Faixas de borda	-	-	X

A Tabela 9 faz uma relação entre os tipos de aproximação, sendo visual ou por instrumentos, e os elementos que são obrigatórios.

Quanto às posições e dimensões dos elementos, o RBAC 154 é bem objetivo. Apenas em alguns casos a norma estabelece um intervalo de medidas para que o projetista possa escolher a

medida que melhor se encaixar. Foi pensado e chegou-se a conclusão que essas medidas seriam pré-estabelecidas no código do programa. Nesse caso são o comprimento, largura e espaçamento das faixas de eixo e ponto de visada e largura das faixas de borda. Como mostrado na Tabela 7, por exemplo, há um limite inferior e superior para comprimento e largura da faixa, mas foi estabelecido a menor medida a fim de se obter o menor custo com tintas. O mesmo acontece com as faixas de eixo e borda. Utilizou-se as menores dimensões, desde que satisfaçam as limitações impostas pela RBAC 154.

### 3.2.2 Procedimento de desenho da pista e seus elementos

Escolhida a linguagem e tendo as informações necessárias, iniciou-se o desenvolvimento do *software* propriamente dito. Foi feito um procedimento para que o *software* desenhasse todos os elementos necessários segundo a regulamentação. Para isso, inicialmente, o projetista terá que indicar qual o comprimento e largura da pista de pouso e decolagem. Com esses dados, o *software* já possui o que é necessário para desenhar os limites da pista, as faixas de eixo, faixas de cabeceira e designação, já que esses elementos estão previstos em todos os tipos de pista. O próximo passo foi desenhar as faixas de ponto de visada e zona de toque. Para isso, será preciso indicar qual o tipo de operação. Com esses elementos já se tem o desenho de uma pista completa. Porém, há algumas configurações de pista que devem ser abordadas, tais como pista paralela e tipo de zona de toque.

Quando se há pista paralela, o *software* também deve desenhar qual a letra que a pista se encontra em relação às outras. Por isso, está escrito no código do *software* a criação das três letras da designação (L, C e R) se for preciso. Assim o qualquer posição da pista pode ser desenhada. Quanto à zona de toque, o *software* desenha as duas configurações de pista. A pista com tipo básico de zona de toque e a zona de toque com codificação de distâncias, como mostrado na Figura 13. Porém, não há recomendações no regulamento a respeito de quantidades de faixas triplas, duplas e simples a serem desenhadas quando se varia o comprimento da pista. Tanto a posição da pista quanto o tipo de zona de toque são configurações que independem de dimensão ou operação. Dessa forma, é de decisão do projetista indicar as configurações.

Por fim, também foi necessário criar as cotas que indicam distâncias e dimensões, presente em qualquer projeto de engenharia.



### 3.2.3 Implementação computacional

Por se tratar de formas geométricas retangulares, a criação dos elementos se tornou uma tarefa simples. Alguns recursos de linguagem foram essenciais para o desenvolvimento do *software*. O comando *if* para indicar uma condição foi bastante utilizado. Esse comando pôde separar quais elementos deveriam ser desenhados entre os diferentes tipos de pista. Por exemplo, se a operação for VFR, então o *software* desenhará os elementos correspondentes ao VFR. Se for IFR não precisão, então o *software* desenhará os elementos correspondentes ao IFR não precisão, e assim por diante. Outro comando muito utilizado foi o comando *for*, o qual corresponde a uma repetição. Já que a pista de pouso e decolagem possui uma simetria em relação ao seu eixo longitudinal, o comando *for* foi responsável por replicar o desenho feito de um lado da pista para o outro lado. Assim não foi necessário escrever dois comandos diferentes para criar o desenho nos lados da pista.

Para o programa obter qual código de referência da pista, foi utilizado o comando *def*. O comando *def* define uma função, o qual pode ser chamada em qualquer momento dentro do código. Esse recurso foi útil para quando o projetista indicar qual o comprimento da pista, a função irá receber o valor como dado de entrada e retornar o código de referência correspondente. Assim o código pode ser utilizado posteriormente. O recurso também foi utilizado para habilitar ou desabilitar outros recursos presentes no software.

A sinalização designação foi feita de um método diferente. Como a designação é composta por um número e, se existir, uma letra, implementar um comando para desenhá-la seria algo trabalhoso, uma vez que a designação possui uma forma mais complexa. Também não há uma especificação, nem no RBAC 154 quanto no Anexo 14, a respeito dos espaçamentos existentes entre os números a serem respeitados. Para simplificar essa tarefa, a designação foi feita a partir de um arquivo *True Type Font* (TTF). O arquivo TTF está presente na maioria dos editores de texto, se não todos. Um exemplo de fonte é o *Times New Roman*, muito conhecido pelas pessoas. Foi pesquisada na *internet* alguma referência de fonte com as letras e números iguais aos da designação. O *DxfWrite* possui uma função de importar o arquivo de fonte que o usuário desejar. Então apenas foi preciso selecionar o arquivo de fonte de designação e o *DxfWrite* já estava criando a designação.

Até aqui o *software* já está funcional, ou seja, já é possível executá-lo. O próximo passo foi criar uma interface gráfica para deixar o *software* mais "apresentável". Para isso, foi utilizado outro módulo, chamado *Tkinter*. Esse módulo produz uma interface com algumas ferramentas (*widgets*), simples e fácil de manusear, além de possuir uma variada biblioteca disponível. A documentação também é instrutiva e há uma vasta comunidade.

Para ler os dados de entrada de comprimento e largura, foi feito um *Entrybox* o qual a variável é atribuída como um número. *Entrybox* é um *widget* com forma de uma pequena caixa de texto, assim pode-se escrever o dado necessário dentro dele. Não necessariamente deve ser um número, poderia ser um letra, mas não é o caso das dimensões da pista. No programa não há limite de comprimento mas há limitação quanto à largura. Este presente trabalho utilizou-se como base a Tabela 5. Portanto, para o resultado final, não se aplicam outros valores que não sejam aqueles. A designação de pista também é atribuída pelo *Entrybox*.

A escolha do tipo de operação do aeródromo foi implementada na interface através de um *Radiobutton*, *widget* o qual oferece uma ou mais opções em que apenas uma das opções pode ser selecionada. Esse mesmo artifício também foi utilizado para a escolha de pista única ou paralela e qual o tipo de configuração de zona de toque.

Como um dos objetivos deste trabalho é comparar os resultados do programa com alguns sítios aeroportuários, foi realizada uma transformação do arquivo DXF para um arquivo *Keyhole Markup Language* (KML). O KML é uma linguagem que tem como objetivo expressar anotações geográficas de conteúdos existentes nessa linguagem como mapas em 2D e navegadores terrestre em 3D e foi desenvolvida para ser utilizada no *Google Earth*, inicialmente. Dessa forma seria mais fácil a análise. Para isso, utilizou-se a ferramenta "*Checkbox*" para ativar a função de criar o KML. Nesse espaço da interface também existem algumas caixas de texto para se colocar as coordenadas e o código EPSG, que serão abordados posteriormente.

No canto superior esquerdo, há uma pequena barra de *menu* com informações sobre o *software*, tais como versão, data e o nome dos desenvolvedores, e a opção sair.

Por fim, há um botão que faz a função de executar todo o código fonte. Caso os dados indicados estiverem todos dentro da normalidade, o *software* irá executar a criação do projeto da pista e os arquivos DXF e KML estarão presentes na pasta que o projetista selecionar.

O resultado final da interface do programa pode ser visto na Figura 15.

Junto ao programa, há um prompt de comando, Figura 16 onde o programa também indica quantos metros quadrados de tinta será necessário para a pintura da pista, facilitando na hora do cálculo dos custos. Porém, os elementos de designação não tiveram suas áreas contabilizadas pelo *software*, por conta do modo de como elas foram desenhadas na pista. Dentro do prompt, o programa também expõe informações a respeito das dimensões de alguns elementos de sinalização.

Figura 15: Programa de sinalização horizontal

Figura 16: Prompt de comando

```
C:\Python27\python.exe
EIXO DE PISTA
largura_eixo = 0.45
comprimento_faixa = 30.0
intervalo = 20.7142857143
42.0 conjuntos + 30.0 no final
tinta_eixo = 580.5

FAIXA DE BORDA
faixa_borda = 0.9
tinta_borda = 4114.8

FAIXAS DE CABECEIRA
num_faixas_cabeceira = 12
d = 0.9
d = 2.1
larg_faixa_cabeceira = 1.7
espac_faixa_cabeceira = 1.7
tinta_cabeceira = 612.0

PONTO DE VISADA
comprim_visada = 45.0
largura_visada = 6.0
espacamento_visada = 18.0
tinta_visada = 1080.0

ZONA DE TOQUE
numero_pares = 4
comprim_toque = 22.5
largura_toque = 1.8
tinta_toque = 57.6

TINTA TOTAL
tinta_total = 6444.9
Fim!
Tempo de processamento = 0:00:00.378000 segundos
```

### 3.2.4 Geração do KML

A análise da correta funcionalidade do software será feita através de comparações entre os projetos sobrepostos a imagens de satélite. Para isso seria necessário as coordenadas Universais Transversas de Mercator (UTM) e também o código EPSG. A sigla EPSG vem de *European Petroleum Survey Group*, que é um grupo de pesquisa o qual foi responsável por sistematizar

todos os Sistemas de Referência de Coordenadas (SRC) do planeta por códigos. Assim, qualquer projeção no planeta pode ser identificada pelo padrão EPSG. As coordenadas foram obtidas traçando uma reta que passasse o mais próximo possível do eixo da pista, no melhor caso exatamente sobre o eixo. Após traçar a reta, posicionou-se o ponteiro do *mouse* sobre a intersecção da reta com o limite inicial e final da pista. O código EPSG foi obtido na *internet* através do fuso indicado no próprio *Google Earth*.

Para a criação do KML foi utilizado o *software ogr2ogr*. O *ogr2ogr* pode ser usado para converter dados de recursos entre os mais diferentes formatos, realizando operações durante o processo. No caso do sistema proposto neste trabalho, ele realiza três operações dentro do código fonte.

A primeira operação é converter o arquivo DXF para um arquivo *Shapefile* (SHP). O SHP é um formato de arquivo o qual possui dados geoespaciais na forma de vetor usado por Sistemas de Informações Geográficas. Foi desenvolvido e regulamentado pela empresa americana *Environmental Systems Research Institute* (ESRI).

A segunda operação do comando foi realizar uma escala, uma rotação e uma translação do desenho no arquivo SHP, exatamente nessa ordem. A escala corresponde em relacionar as dimensões do desenho com as coordenadas obtidas da pista de pouso e decolagem. O ideal seria a escala igual a 1, o que significaria coincidir exatamente as dimensões do desenho com a imagem. Mas se não for possível, a escala deve ser o valor mais próximo de 1. A rotação corresponde em rotacionar o desenho da pista para o ângulo que as coordenadas fazem entre si. Por fim, a translação é o movimento do desenho para sobrepor as coordenadas, formando assim uma projeção sobre a imagem de satélite.

A última operação é transformar o arquivo SHP em um arquivo KML, com o código EPSG, podendo assim ser visualizado no *Google Earth*.

Com essa última operação, o *software* está completo. Seguindo a metodologia apresentada, a próxima etapa é a geração dos projetos de pistas e comparação com aeródromos reais.

## 4 Resultados

Nessa seção serão abordados os resultados dos desenhos criados pelo programa. Primeiramente foi criado desenhos de pistas aleatórias, a fim de verificar se o programa faz o que é proposto. No caso desenhar uma pista com todos os elementos de sinalização necessários.

### 4.1 Verificação de projetos gerados

Inicialmente foi gerado um projeto de pista para cada tipo de operação - VFR, IFR não precisão, IFR precisão. Sendo que no IFR precisão há dois projetos, para os dois tipos de zona de toque existentes. Os projetos foram alterados através do *AutoCAD* apenas para que pudessem caber na folha desta seção do trabalho, já que a pista tem um comprimento muito grande em relação à largura. Se o desenho não fosse alterado, a escala ficaria muito grande, impossibilitando a visualização precisa de cada elemento. Por conta dessa alteração, os projetos apresentados não estão em escala.

As Figuras 17 (a) e 17 (b) mostram um projeto de pista VFR e IFR não precisão. O primeiro desenho é de uma pista com dimensões 1800 x 30 m e designação 15/33. O segundo desenho é de uma pista de 2300 x 45 m e designação 15L/33R.

A Figura 18 mostra um projeto de pista IFR precisão com zona de toque tipo básica. A pista possui dimensões 2500 x 45 m e designação 15C/33C.

Por fim, a Figura 19 mostra um projeto de pista IFR precisão com zona de toque com codificação de distâncias. A pista possui dimensão 2500 x 45 m e designação 15R/33L.

Os desenhos foram representados seguindo os exemplos apresentados no RBAC 135 e Anexo 14. Só há representação da cabeceira da esquerda mas procurou-se mostrar os três tipos de designação quanto a posição (L, C e R). As cotas de dimensionamento estão em metros.

### 4.2 Comparações de projetos com imagens

Para comparar os desenhos com os sítios aeroportuários reais, escolheu-se 5 aeroportos como base. O aeroporto de Brasília, Florianópolis, Angra dos Reis, Poços de Caldas e Porto Alegre. A escolha desses aeroportos foi feita através do tipo de operação que eles operam. A razão para isso seria analisar diferentes desenhos de pistas, e não dois ou três contendo os mesmos elementos, distâncias e dimensões. No site da ANAC foram encontradas as informações necessárias desses

Figura 17: Projeto VFR e IFR não precisão

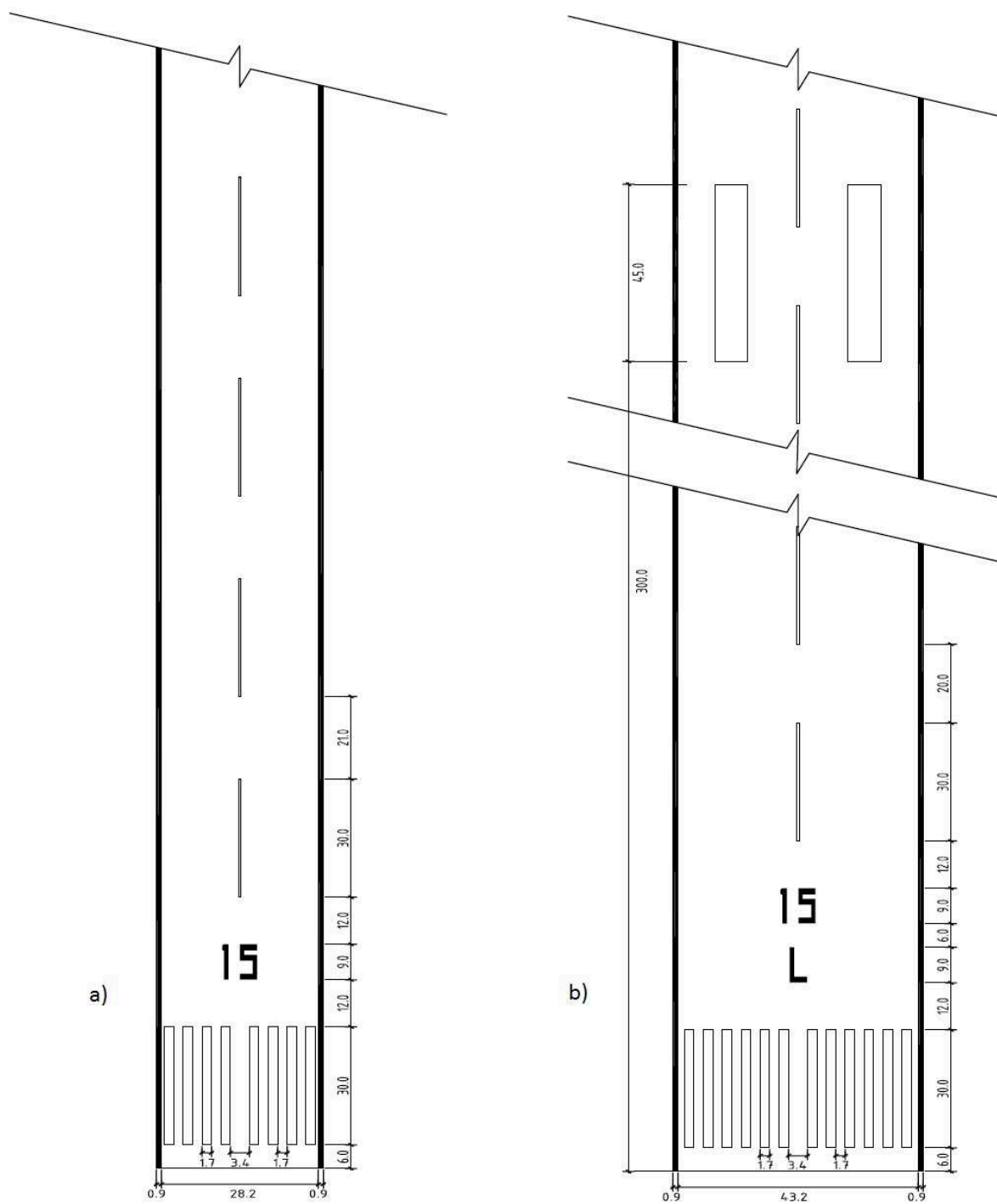


Figura 18: Projeto IFR precisão básico

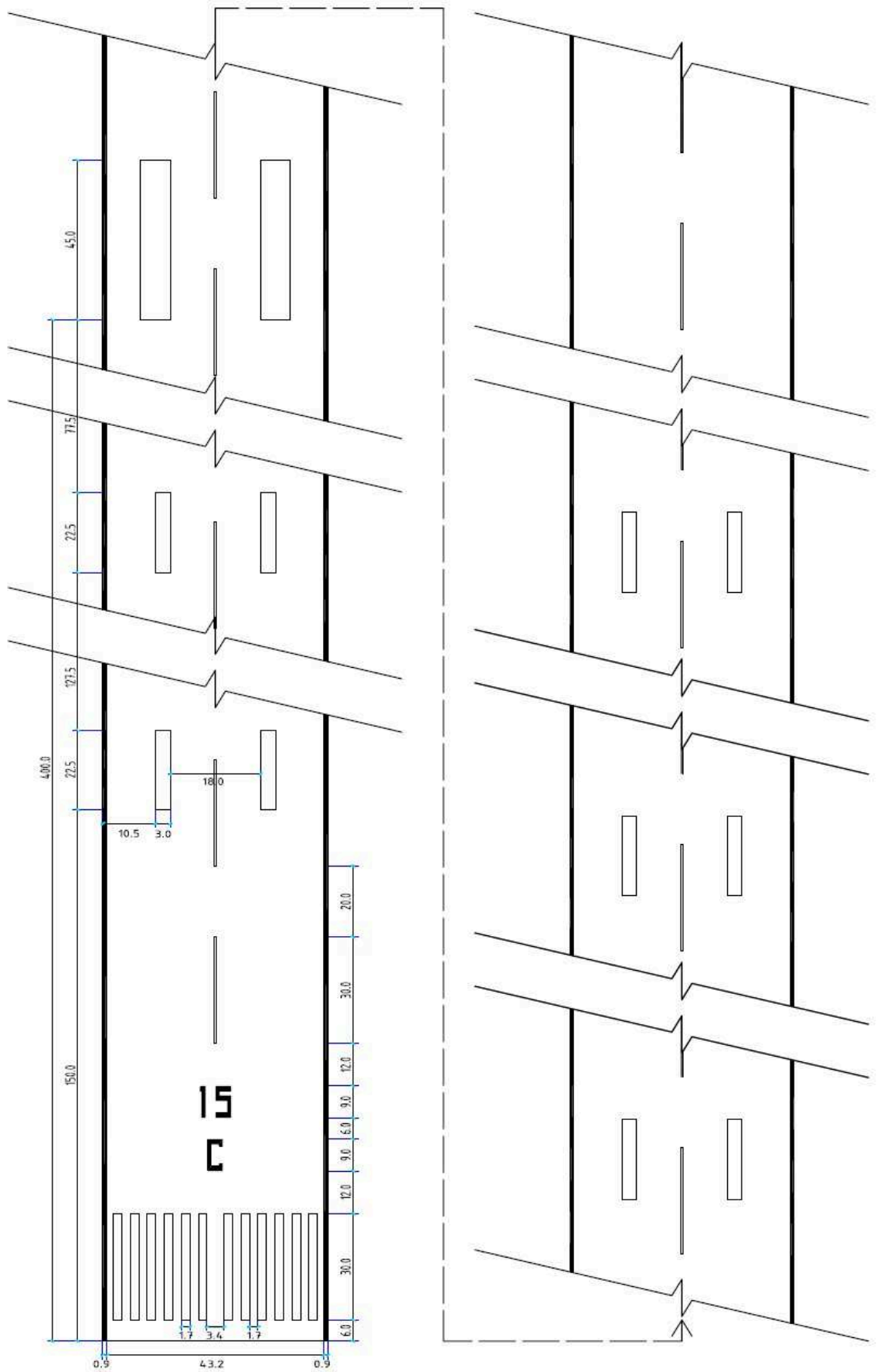
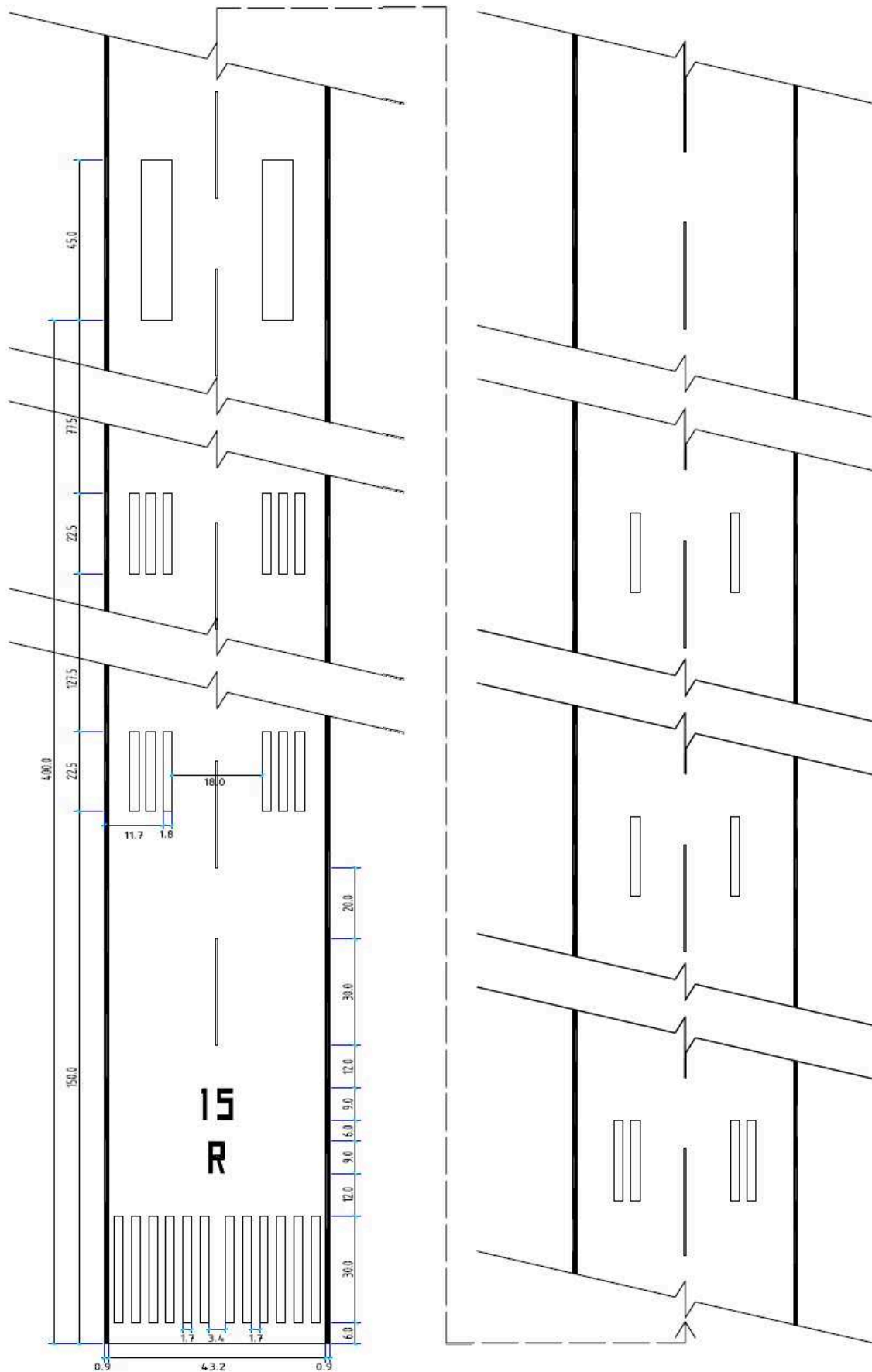


Figura 19: Projeto IFR precisão com codificação de distâncias





aeroportos e também a designação das pistas, através das portarias correspondentes.

#### **4.2.1 Aeroporto Internacional Juscelino Kubitschek - Brasília/DF**

Conforme consta na portaria ANAC Nº 2422/SIA (ANAC, 2012a), o aeroporto de Brasília opera em VFR e IFR categoria I, possuindo duas pistas de pouso e decolagem, as quais possuem dimensões 3200 x 45 m e 3300 x 45 m. Para a análise pegou-se a pista de maior dimensão. Sua designação é 11R/29L.

A partir dos dados obtidos na portaria, os elementos de sinalização que devem estar presentes são: faixas de cabeceira, faixas de borda de pista, faixas de eixo, designação de pista, ponto de visada e zona de toque. Por ter comprimento acima de 2400 m, a sinalização de ponto de visada deve estar localizada a 400 m da cabeceira da pista. A configuração da zona de toque é com codificação de distâncias. O resultado do desenho da pista se encontra na Figura 20.

A primeira conclusão com base na Figura 20 é que o programa criou o desenho conforme estabelecido pela norma. As distâncias e os elementos estão corretos. O próximo passo é comparar o desenho criado pelo programa e a imagem real da pista. A projeção do desenho é mostrado na Figura 21 e Figura 22

Analizando as imagens, todos os elementos, aparentemente coincidiram com a realidade da pista. Aumentando a proximidade da imagem, percebe-se que há uma pequena diferença na posição dos elementos, Figura 23. A princípio pode-se considerar uma imperfeição na execução do projeto, pois não se sabe qual o grau de precisão que há na imagem e se essa precisão afeta significativamente a posição dos elementos. Para uma maior precisão, seria melhor utilizar dados de uma estação total ou até mesmo uma ortofoto, já que na ortofoto todos os elementos representados possuem a mesma escala. Portanto as distorções da imagem são menores.

Mesmo assim, o aeroporto se encontra em conformidade com as normas existentes.

#### **4.2.2 Aeroporto Internacional Hercílio Luz - Florianópolis/SC**

Localizado na ilha de Florianópolis, o aeroporto Hercílio Luz opera em VFR e IFR, ambos diurno/noturno. O aeroporto conta com duas pista de pouso e decolagem, mas não são paralelas entre si. A pista principal possui dimensões 2298 x 45 m, segundo a portaria Nº 116/SOP (DAC, 1982) aprovada pelo extinto Departamento de Aviação Civil. Designação de pista é 14/32.

Com as características obtidas, a pista deve conter faixas de cabeceiras, de eixo, de borda,

Figura 20: Modelo do aeroporto de Brasília

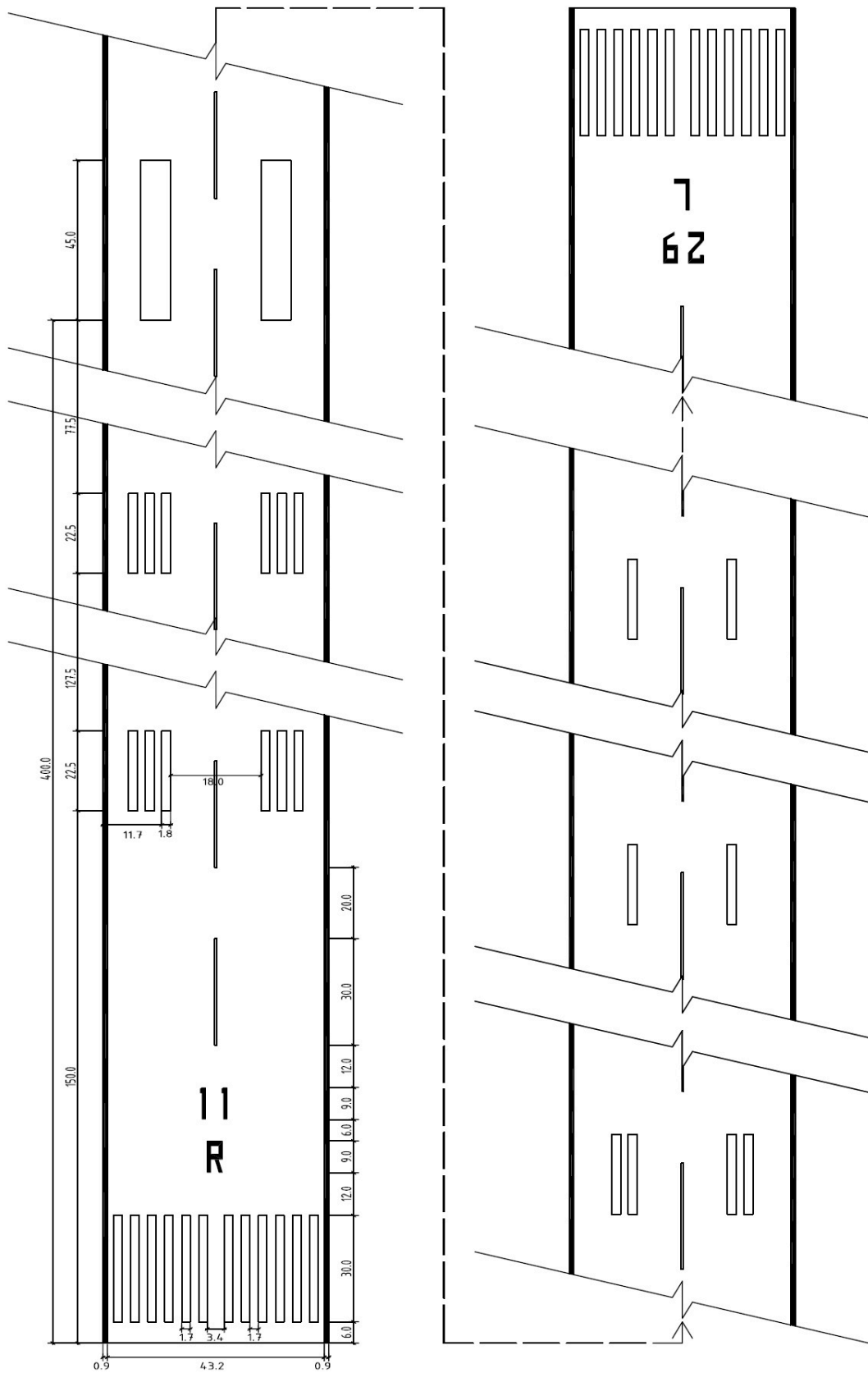


Figura 21: Cabeceira esquerda da pista - Brasília



Fonte: Google Earth (2016)

Figura 22: Cabeceira direita da pista (aproximado) - Brasília



Fonte: Google Earth (2016)

Figura 23: Diferenças de posicionamento - As setas mostram as diferenças existentes entre a projeção e a imagem de satélite



Fonte: Google Earth (2016)

sinalização de designação, ponto de visada e zona de toque. Pelo fato do comprimento estar entre 1200 e 2400 m, a sinalização de ponto de visada deve estar disposta a 300 m da cabeceira. O tipo de zona de toque é com codificação de distâncias.

A princípio, o programa desenhou o *layout* da pista corretamente, obedecendo a existência dos elementos e distâncias que nele contém, mostrado na Figura 24. A comparação com a imagem de satélite é mostrada na Figura 25

Analisando a imagem por satélite, percebe-se um deslocamento dos elementos um pouco a frente da projeção. Foi visto na revisão bibliográfica que a zona de toque deve iniciar a 150 m a partir da cabeceira, segundo ANAC (2012b). Além do que está escrito, a Figura 13 mostra a distância sendo medida a partir do limite da cabeceira da pista. Porém, em uma norma da Infraero datada de 2006 está escrito a seguinte recomendação: "Os espaçamentos longitudinais entre os pares de faixas de zona de toque, são de 150,00m contados a partir de 6,00m do início da pista"(Infraero, 2006). A distância a partir de 6 m referidos pela norma da Infraero coincide com o início das faixas de cabeceira. Portanto, o que se pode ver é que a sinalização horizontal do projeto de pista gerado pelo programa está de acordo com o RBAC

Figura 24: Modelo do aeroporto de Florianópolis

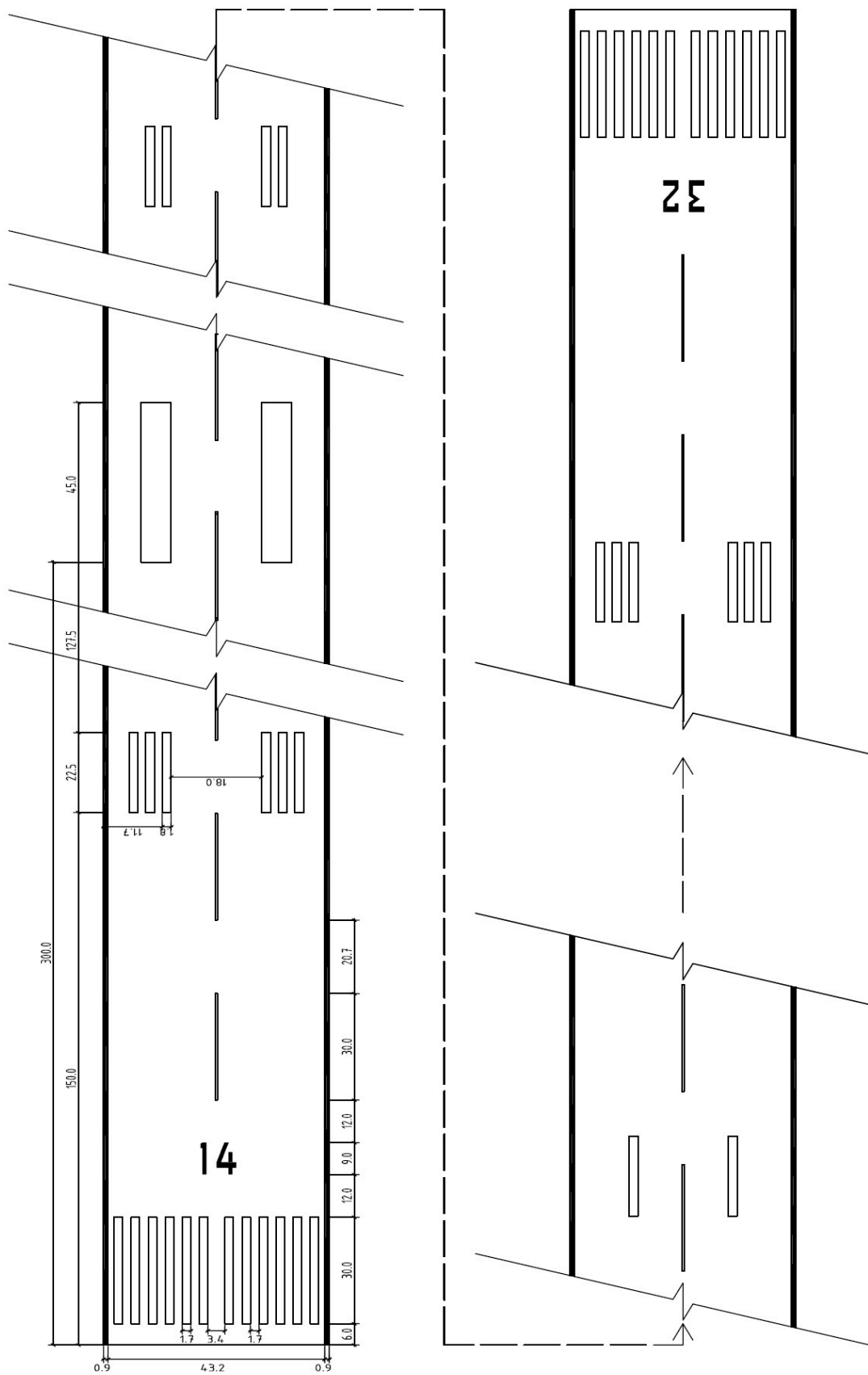




Figura 25: Análise comparativa do aeroporto de Florianópolis



Fonte: Google Earth (2016)

Figura 26: Distância da zona de toque do programa



Fonte: Google Earth (2016)

Figura 27: Distância da zona de toque real



Fonte: Google Earth (2016)

Figura 28: Distância ponto de visada real



Fonte: Google Earth (2016)



154 enquanto a sinalização horizontal da pista de Florianópolis está de acordo com a norma da Infraero. Foi feita uma medição para ver se, em ambos os casos, a distância está de acordo com as referidas normas. As medições são mostradas nas Figuras 26, 27 e 28.

Figura 29: Análise comparativa do aeroporto de Florianópolis



Fonte: Google Earth (2016)

Outra diferença mostrada nessa comparação que deve ser observada é que a zona de toque da projeção está desenhada, de cada lado do eixo da pista, como sendo três faixas paralelas, depois duas e por fim uma faixa. Já na imagem de satélite, as faixas estão desenhadas como três, duas e duas faixas, mostrado na Figura 29. Essa diferença ocorre porque não há recomendação específica para esses casos, podendo haver diferentes tipos de configurações, como exemplo o aeroporto de Porto Alegre que será abordado mais adiante. Como não há uma regra específica, foi estabelecida essa configuração para aumentar a segurança da pista, além de obter mais economia de tinta. A segurança mencionada se dá por conta do atrito entre a roda da aeronave e o pavimento. Quanto menos áreas pintadas, maior será o atrito.

Embora haja diferenças, a pista está de acordo com o que é dito no regulamento.



### 4.2.3 Aeroporto de Angra dos Reis - Angra dos Reis/RJ

O aeroporto de Angra dos Reis é um aeroporto público com baixa capacidade de aeronaves. Conforme consta na portaria N° 03/GM4 (DAC, 1974), o aeroporto opera em categoria VFR diurno, possui apenas uma pista de pouso e decolagem com dimensão 950 x 30 m e designação 10/28.

Em uma análise prévia, a pista de pouso e decolagem de Angra dos Reis deve possuir, obrigatoriamente, faixas de cabeceira, faixas de eixo e designação. Por se tratar de um aeroporto que opera em VFR, as faixas de borda pista são apenas necessárias se não houver distinção entre o limite da pista com o terreno.

O desenho, resultado do programa, mostra a pista com todos os elementos obrigatórios e mais as faixas de borda Figura 30. Isso porque o código foi escrito para que em todas as pistas resultantes, independente de suas dimensões e operação, estejam presentes as faixas de borda. Dessa forma, se garante a obrigatoriedade das faixas em pistas que operam com aproximação por instrumentos de precisão e a distinção entre o limite com o terreno nas pistas VFR.

Através de uma visão geral da projeção da pista no *Google Earth*, Figura 31 observou-se que os limites da cabeceira coincidiram com a imagem real, porém há uma grande diferença entre as faixas de eixo no decorrer da pista. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que o comprimento de uma faixa de eixo, somado com o espaçamento existente entre duas faixas, deve respeitar o limite entre 50 e 75 m. Portanto cabe ao projetista escolher quais comprimentos e espaçamentos utilizar.

Também é possível observar que a cabeceira da direita possui uma faixa transversal enquanto a da esquerda não. O desenho feito pelo programa não possui o procedimento de criação dessa faixa, a qual indica cabeceira deslocada, no código fonte.

Quando aproximado a imagem na cabeceira da direita, Figura 32 fica evidente uma diferença no posicionamento das faixas de cabeceira entre a imagem por satélite e a projeção. Essa diferença, porém, não acontece na cabeceira da esquerda (Figura 33). A explicação plausível para essa diferença é a interpretação do projetista em relação ao início da cabeceira. O código foi escrito para que a distância da cabeceira se inicie a partir o limite da pista. Portanto, nesse caso, onde se inicia a faixa de cabeceira deslocada. Aparentemente, a realidade indica que a distância se iniciou no final da faixa de cabeceira deslocada, empurrando as faixas de cabeceira um pouco mais a frente.

Figura 30: Modelo do aeroporto de Angra dos Reis

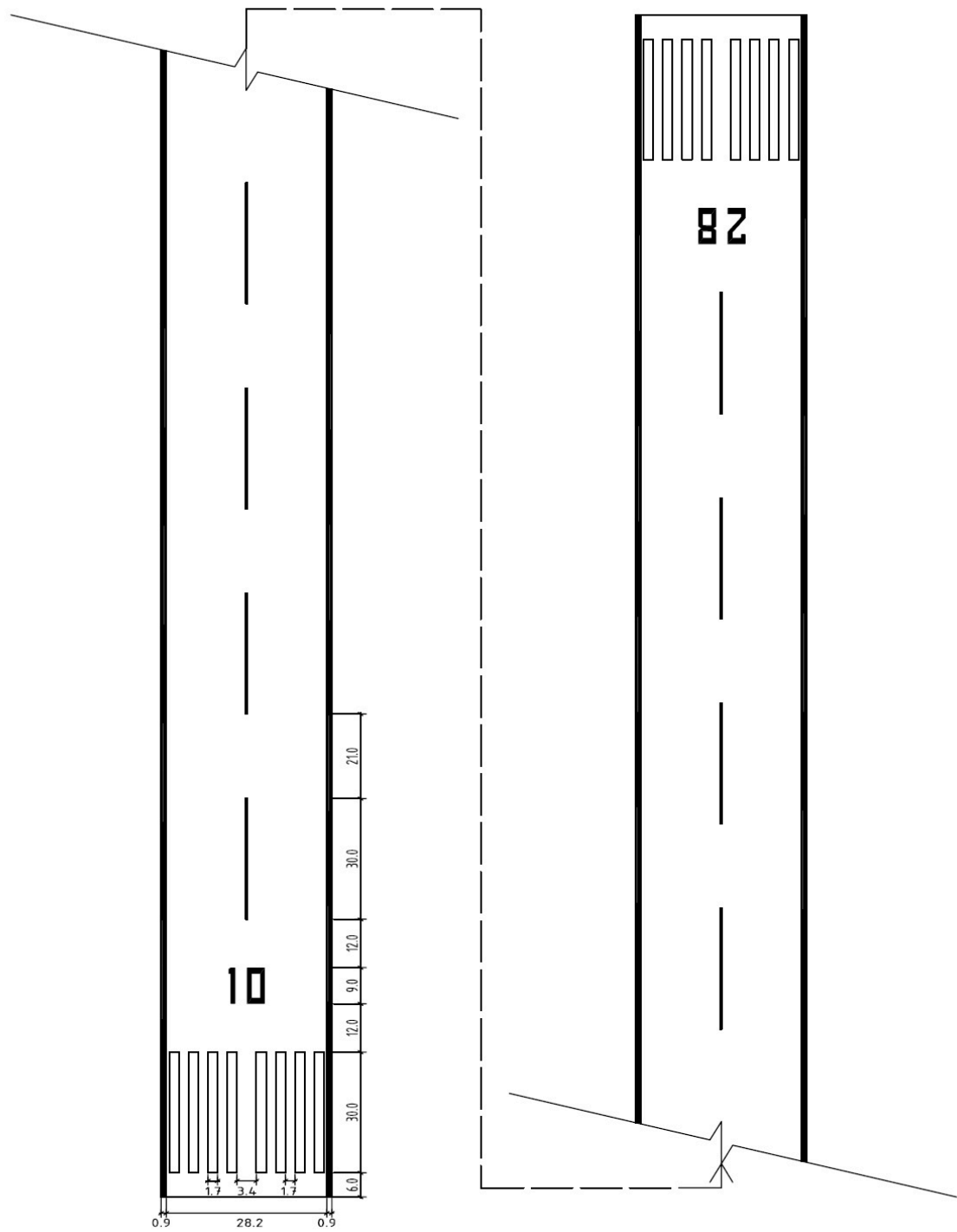


Figura 31: Análise comparativa do aeroporto de Angra dos Reis



Fonte: Google Earth (2016)

Figura 32: Cabeceira direita da pista - Angra dos Reis



Fonte: Google Earth (2016)

Figura 33: Cabeceira esquerda da pista - Angra dos Reis



Fonte: Google Earth (2016)

#### 4.2.4 Aeroporto Embaixador Walther Moreira Salles - Poços de Caldas/MG

Segundo a portaria DAC N° 400E/SIE (DAC, 1998), o aeroporto localizado em Poços de Caldas opera em VFR e IFR diurno. Ele possui apenas uma pista, com dimensões 1250 x 30 m e designação 9/27.

Partindo em conta das dimensões e o tipo de operação, a pista deve possuir faixas de cabeceira, faixas de eixo, sinalização de designação e ponto de visada. Não é necessária zona de toque e faixa de borda já que se trata de uma pista com aproximação por instrumentos de não precisão. A distância da cabeceira até a zona de toque deve ser de 300 m. O desenho da pista é mostrado na Figura 34.

Uma vez feita o desenho da pista, é possível fazer a comparação com a imagem de satélite, mostrado na Figura 35.

Fazendo uma análise comparativa, pode-se perceber que há uma grande diferença entre a imagem e a projeção. A pista real deveria ter, obrigatoriamente, sinalização de ponto de visada, mas não é o que se mostra na Figura 36. O que parece é que o aeroporto opera em apenas VFR. Como a portaria foi homologada em 1998, pode ser que a categoria do aeroporto



Figura 34: Modelo do aeroporto de Poços de Caldas

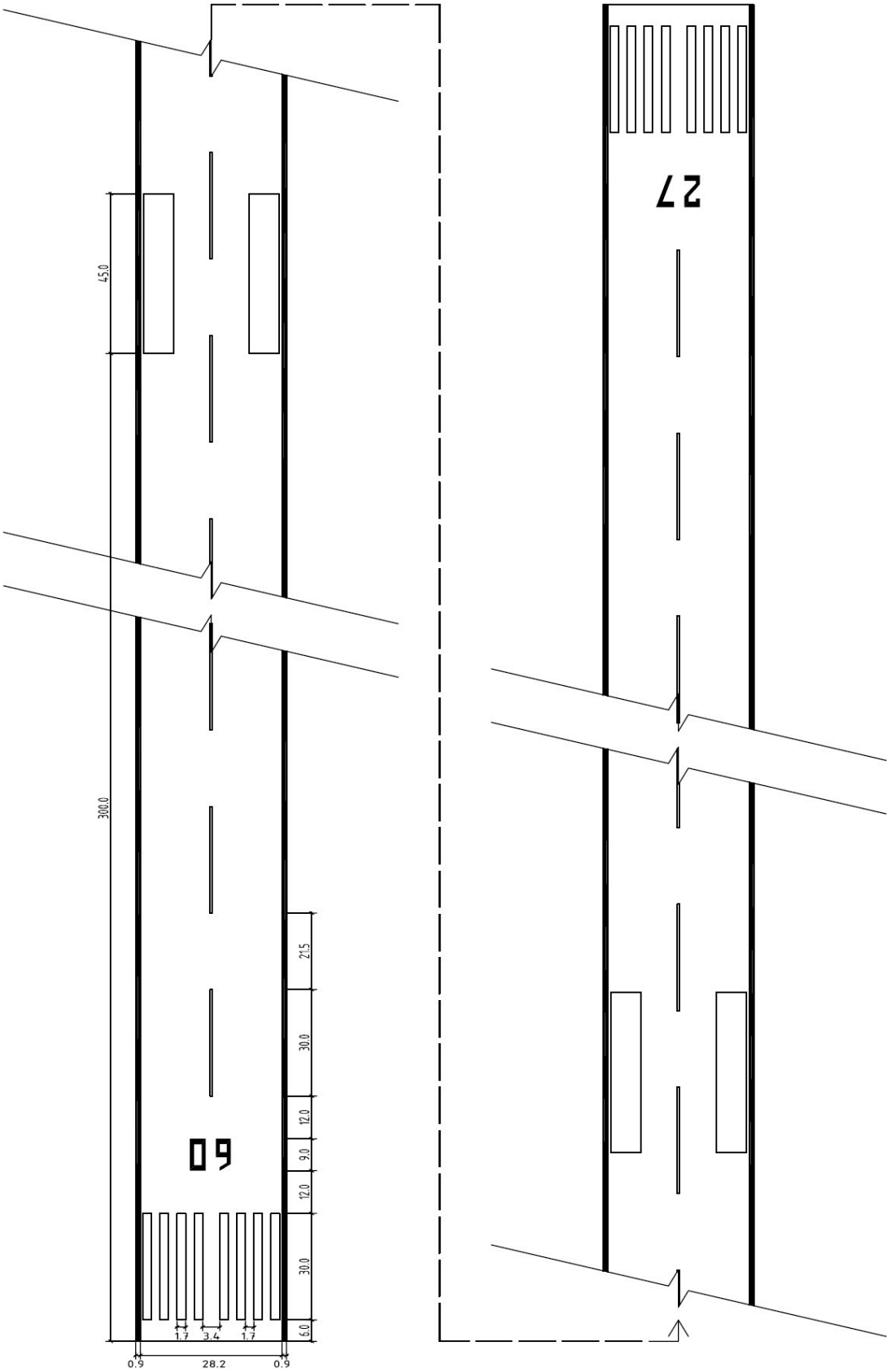


Figura 35: Análise comparativa do aeroporto de Poços de Caldas



Fonte: Google Earth (2016)

Figura 36: Cabeceira esquerda da pista - Poços de Caldas



Fonte: Google Earth (2016)

de operar em IFR tenha sido revogada, mas não há nenhuma menção sobre isso. Dessa forma, do jeito que se encontra, o aeroporto está em desacordo com o regulamento.

#### **4.2.5 Aeroporto Salgado Filho - Porto Alegre/RS**

Localizado na cidade de Porto Alegre, o aeroporto Salgado Filho opera em VFR e IFR Cat II. Possui uma pista de pouso e decolagem com dimensão de 2280 x 45 m, segundo a portaria N° 1446/SIA (ANAC, 2014), e designação 11/29.

O fato do aeroporto possuir aproximação por instrumentos na categoria II, não há diferenças na sinalização horizontal comparando com um aeroporto de categoria I, por exemplo. Dessa forma, faixas de cabeceiras, faixas de eixo, de borda de pista, designação, ponto de visada e zona de toque devem estar presentes na pista. Com os comprimento dito, o ponto de visada e a zona de toque devem estar a uma distancia de 300 m e 150 m da cabeceira, respectivamente. Pode ser visto a pista na Figura 37.

Partindo da projeção da pista na imagem de satélite, na cabeceira esquerda, Figura 38, se percebe que os elementos estão alinhados com a projeção. Respeitando assim, as dimensões e distâncias estabelecidas pela norma. Porém, há uma diferença quanto à largura da pista. Na portaria está escrito que a pista possui 45 m de largura, mas na imagem de satélite a largura fica em torno de 41,5 m. A imagem de satélite possui algumas distorções, distorção como mostrada na Figura 39. Na Figura 39 ocorreu uma descontinuidade da mosaicagem das imagens. Novamente, como não se pode afirmar que a precisão da imagem influencia na comparação. A princípio, a diferença da largura de pista se dá por um imperfeição na execução do projeto.

Agora, observando a cabeceira da direita, Figura 40, percebe-se o mesmo deslocamento dos elementos como nas análise do aeroporto de Florianópolis. O que torna curioso o modo de como a pista foi projetada. Em uma cabeceira o projeto foi feito respeitando ANAC (2012b), enquanto na outra cabeceira, respeitando Infraero (2006).

Mesmo com algumas diferenças, a pista está de acordo com as normas.

Figura 37: Modelo do aeroporto de Porto Alegre

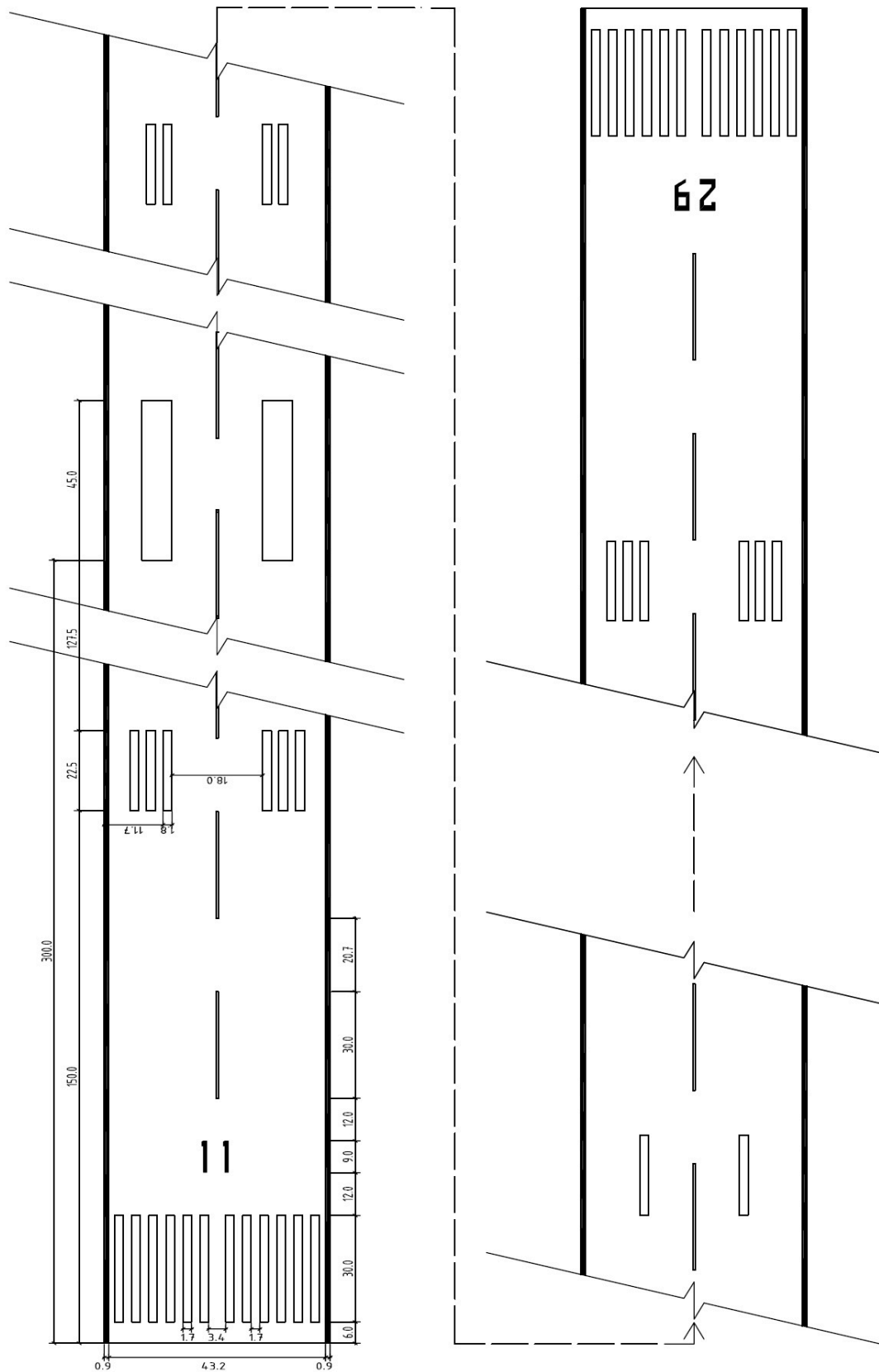
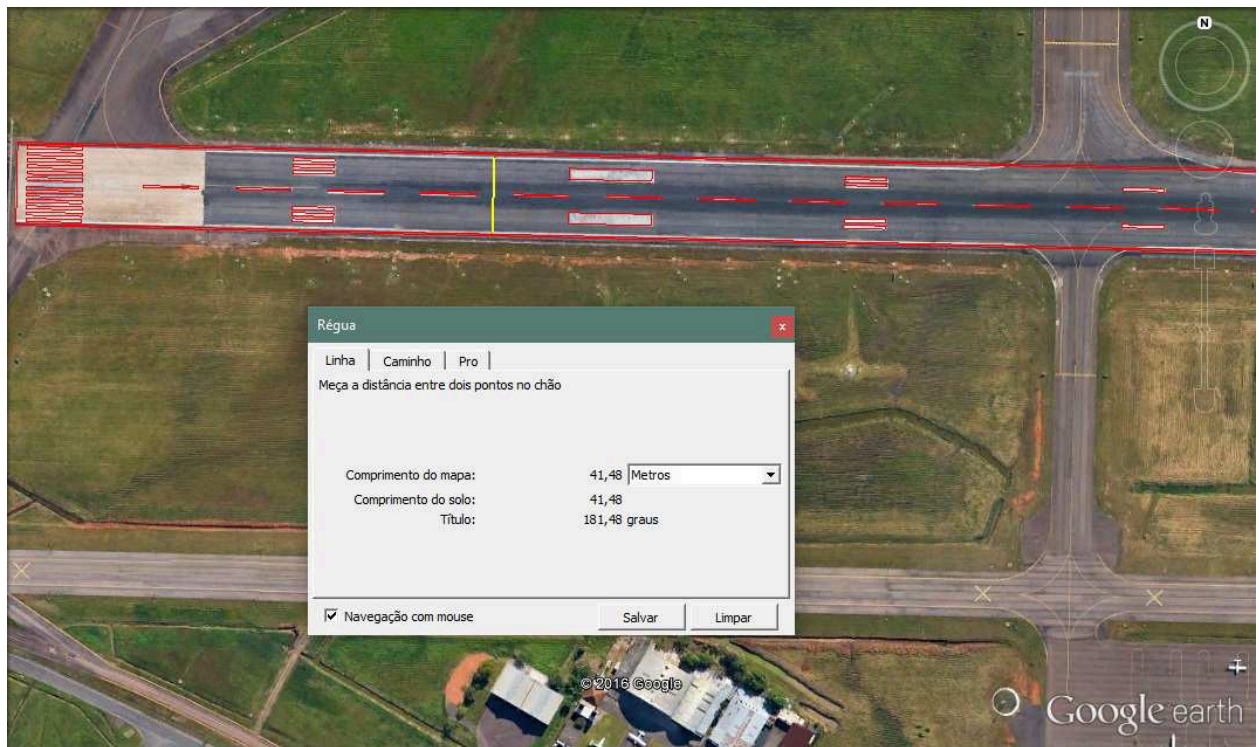




Figura 38: Cabeceira esquerda da pista - Porto Alegre



Fonte: Google Earth (2016)

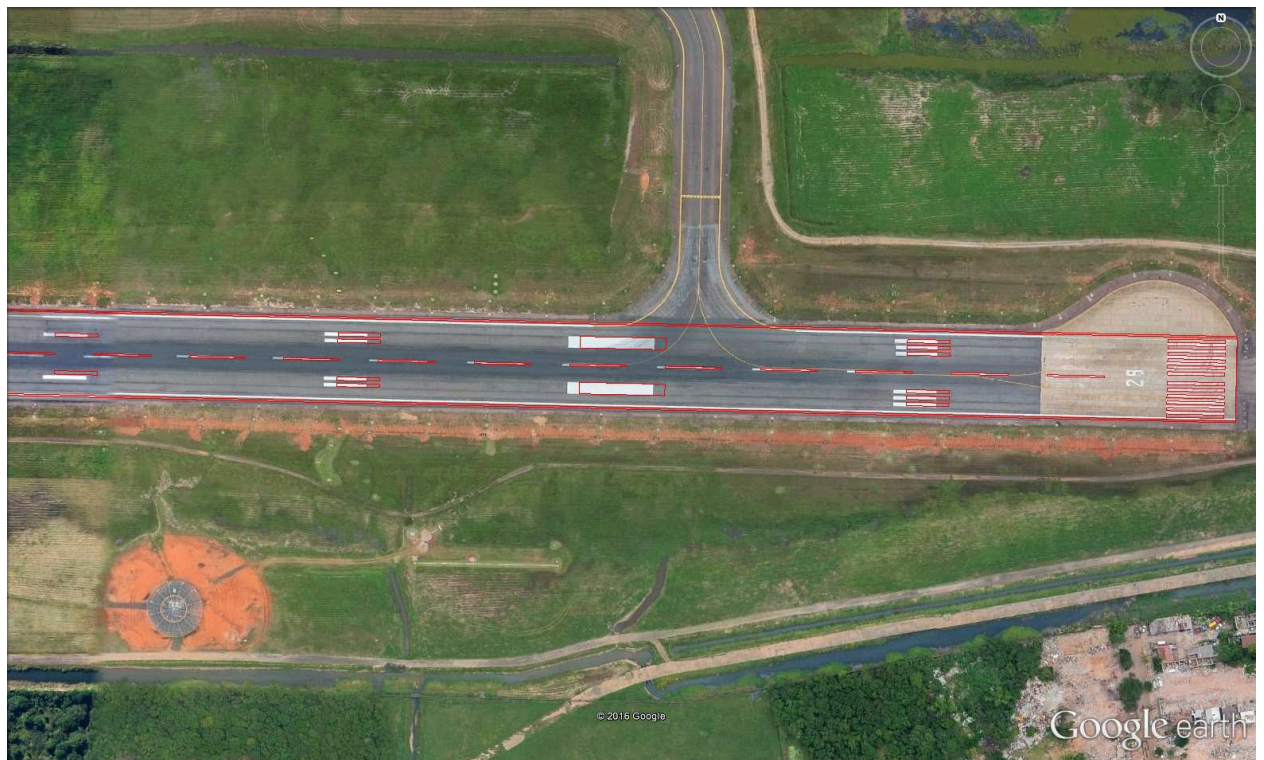
Figura 39: Descontinuidade - Porto Alegre



Fonte: Google Earth (2016)



Figura 40: Cabeceira direita da pista - Porto Alegre



Fonte: Google Earth (2016)

## 5 Considerações finais

A criação de um sistema para automatizar o procedimento de elaboração de projetos se mostrou bastante promissora. O resultado dos desenhos feitos pelo programa foi positivo. Todos os projetos gerados atenderam à norma além desenhar os vários tipos de configurações que existem nas pistas de pouso e decolagem.

A comparação com as imagens de satélite também foi satisfatória, apesar de existirem algumas diferenças. Diferenças que não necessariamente tornam as pistas de pouso e decolagem em desacordo com a norma. E quando há o desacordo, o programa se mostrou útil para verificar a situação, embora não seja o seu foco.

O desenvolvimento de todo o trabalho não foi uma tarefa fácil. Apenas a parte da revisão bibliográfica foi algo simples. Tarefa facilitada pelo fato das normas e recomendações estarem todas presentes nos regulamentos brasileiros. Ainda há uma grande variedade de livros que dizem respeito às pistas de pouso e decolagem. A pesquisa de uma linguagem computacional também não ofereceu muita dificuldade, pois já se sabia qual deveria ser o resultado do programa.

A criação do programa, parte mais difícil, ligada ao conhecimento em programação, não é algo comum entre os graduandos de engenharia civil. Existem algumas disciplinas que introduzem a programação no curso, mas nada tão complexo a ponto de ter um produto final como o que foi apresentado neste trabalho. Foi preciso horas para aprender e testar os comandos que existem no programa, sem contar os problemas que foram aparecendo conforme ia avançando o trabalho. A orientação do professor foi de grande importância nesse momento, já que boa parte das soluções foram sugeridas por ele. A decisão de utilizar uma fonte pronta para a designação da pista é um exemplo de sugestões dadas pelo professor.

Outro fator que também colaborou positivamente para a criação e desenvolvimento deste trabalho foi a data atual. Isso porque o módulo que foi utilizado para a criação dos desenhos das pistas, *DxfWrite*, está em uma versão que possui uma grande variedade de recursos. Variedade que foi aumentando com o passar das versões. Dessa forma, obter os resultados desejados se tornou uma tarefa mais fácil.

Em relação à escrita da norma, há algumas informações que não foram claras e que geraram algumas dúvidas no decorrer do trabalho. Perguntas como: onde se inicia a distância da zona de toque e ponto de visada; com que dimensões de pista pode-se usar a zona de toque com codificação de distâncias; existe alguma restrição para quantas faixas paralelas podem

ser usadas na segunda configuração da zona de toque; quais a distância entre os números na designação de pista, surgiram sem haver respostas.

## 5.1 Utilidades do TCC

Apesar de ser apenas um trabalho acadêmico, o resultado do programa pode vir a ajudar os projetistas de aeroportos a automatizar a criação dos desenhos das pistas de pouso e decolagem. Uma vez criado pelo programa, caso ache necessário, o projetista pode alterar o desenho gerado da forma que lhe for conveniente.

A conclusão deste trabalho abre um leque de possibilidades para estudos posteriores. O assunto abordado foi sinalização horizontal da pista, mas ainda há sinalização vertical e sinalização por luzes, os quais podem complementar os resultados deste trabalho. Além disso, existem as pistas de táxi que também necessitam sinalização horizontal.

A comparação mais precisa dos projetos gerados utilizando dados de uma estação total ou uma ortofoto também é uma sugestão para estudos futuros.

# Referências

- ANAC. *Definições, regras de redação e unidades de medida para o uso nos RBAC*. [S.l.], 2010.
- ANAC. *RBAC 135, Requisitos Operacionais: operações complementares e por demanda*. [S.l.]: Agência Nacional de Aviação Civil, 2010.
- ANAC. *Portaria ANAC No. 2422/SIA*. [S.l.], 2012.
- ANAC. *RBAC 154, Projeto de Aeródromos*. [S.l.]: Agência Nacional de Aviação Civil, 2012.
- ANAC. *Portaria No 1446/SIA*. [S.l.], 2014.
- ASHFORD, N. J.; MUMAYIZ, S. A.; WRIGHT, P. H. *Airport engineering - Planning, design, and development of 21st -century airports*. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2011.
- BORGES, L. E. *Python para desenvolvedores*. 2. ed. Rio de Janeiro: Creative Commons, 2010.
- DAC. *Portaria No 03/GM4*. [S.l.], 1974.
- DAC. *Portaria No 116/SOP*. [S.l.], 1982.
- DAC. *Portaria 400E/SIE*. [S.l.], 1998.
- FAA. *Takeoff Safety Training Aid*. Washington, D.C., 1992.
- ICAO. *Annex 2, Rules of the Air*. 10. ed. [S.l.]: International Civil Aviation Organization, 2005.
- ICAO. *Annex 14, Aerodromes*. 6. ed. Montreal: International Civil Aviation Organization, 2013.
- Infraero. *Pintura de sinalização horizontal nas áreas de movimento de aeronaves para condições normais de operação*. [S.l.], 2006.
- McKinsey & Company. *Estudo do setor de transporte aéreo do Brasil*. 1. ed. Rio de Janeiro: BNDES, 2010.
- MELLO, J. C. Qualidade e produtividade nos transportes. In: \_\_\_\_\_. 2. ed. Sao Paulo: Cengage Learning, 2015. cap. Transporte aéreo, p. 207–240.
- SORIA, M. H. A. Comprimento de pista (notas de aula). 2006.
- URBANEK, B. *Safe Take-off With Runway Analyses*. Hamburg: Anchor Academic Publishing, 2013.
- YOUNG, S.; WELLS, A. *Aeroportos – Planejamento e gestão*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.